Science Council of Canada
Conseil des sciences du Canada

Discussion Paper

Advanced Industrial Materials: Canadian Perspectives and Opportunities

Aant Elzinga
Sean McCutcheon

ESTÉ

ADVANCED INDUSTRIAL MATERIALS:
CANADIAN PERSPECTIVES AND OPPORTUNITIES

by Aant Elzinga and Sean McCutcheon

A discussion paper prepared
for the Science Council of Canada,
Emerging Science and Technologies Program

May 1985

Discussion papers are working documents. They are made available by the Science Council of Canada, in limited numbers, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this discussion paper are those of the author and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

Advanced Industrial Materials: Canadian Perspectives and Opportunities

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario.
K1P 5M1

Des exemplaires de
Les matériaux industriels de pointe : Perspectives canadiennes
sont disponibles gratuitement.

Minister of Supply and Services, 1985

Catalogue No. SS21-5/1985-3E
ISBN No. 0-662-14062-1

CONTENTS

Preface 5

Summary 7

1. OVERVIEW 9
Potential Importance 9
Background 9

2. MATERIALS 11
Ceramics 11
Properties 11
Applications 11
Canadian Perspective 12

Composites 12
Properties 13
Applications 13
Canadian Perspective 14

Metals 14
Properties 15
Applications 15
Canadian Perspective 15

Polymers 16
Properties 16
Applications 16
Canadian Perspective 17

3. WHO SHOULD DO WHAT? 18
Constraints 18
Branch Plants 18
Access to Know-How 18
Small Domestic Market 18
Raw Material Tradition 18
Lack of Innovation Entrepreneurs 18

Actors and Roles 19
Government 19
Universities 19
Industry 20

Opportunities 20

Conclusions 21

Addendum: Questionnaire and Responses 22

PREFACE

Rapid advances are occurring in materials technology. The importance of advanced industrial materials in Canada's economic and industrial future may be comparable to that of microelectronics and of biotechnology. In 1984 the Science Council of Canada decided to stimulate a broadly-based policy discussion and consultation in this area, and organized a series of three workshops in Vancouver, Toronto and Montreal. In this effort we enjoyed cooperation and financial support from the federal Departments of Energy, Mines and Resources (Mineral Policy Sector and Canada Centre for Mineral and Energy Technology) and Regional Industrial Expansion (Office of Industrial Innovation). We also wish to acknowledge the interest and assistance provided by the Discovery Foundation in British Columbia, the University of Toronto, and the National Research Council's Institute for Materials Research. The Canadian Research Management Association also kindly assisted in one of the workshops.

This report is mainly a condensation of presentations and views from the workshops. The views expressed are not necessarily shared by the Science Council.

The report has been prepared by Aant Elzinga and Sean McCutcheon, as part of the Science Council's consultative process in the Program on Emerging Science and Technologies. Dr. Elzinga was the project officer for this part of the program. Sean McCutcheon is a freelance writer.

Guy P.F. Steed
Associate Director of Research

SUMMARY

Advances in materials technology in the United States, Japan, and other countries may have serious repercussions on the Canadian economy as new materials, such as composites, ceramics, and polymers replace the traditional metals that Canada exports.

Advanced industrial materials would represent opportunities rather than threats for the Canadian economy if innovation were carried out in this field. However, there are few applications of innovative materials in Canada now and very little research or development in this area is being done by Canadian industrial, government, or university laboratories.

The Science Council of Canada organized three workshops on advanced industrial materials during the summer of 1984 in Vancouver, Toronto and Montreal. This paper sketches the main themes of the presentations made at these workshops and the views expressed by members of the government, academic, and business communities who attended. It also includes some supplementary information culled from the technical literature and an addendum based on a survey of those who attended the workshops.

Potential Importance

There is a ferment of invention and innovation in materials in Europe, Japan, and the United States. New materials such as amorphous metals, advanced ceramics, and high-temperature composites are replacing old materials with striking rapidity. To avoid being replaced, traditional materials (steel, for instance) have had to become very sophisticated. We may be witnessing a technological shift as significant as the development of the silicon chip.

Commercial competition drives all this activity. By improving performance or lowering cost, technically sophisticated materials may give a product the edge it needs to compete successfully in the fiercely competitive international marketplace.

The Japanese, "120 million people clinging to a barren rock," can only prosper by turning imported raw materials into finished products, such as automobiles, for export. Japanese exports embody high technology. To help develop more sophisticated export products, the government of Japan has, among many other initiatives, organized and funded a major program to develop advanced ceramic materials for use in automobile engines.

Advanced materials have strategic, as well as commercial importance. For instance, alloys such as iron-aluminum are being developed by American researchers to substitute for such traditional alloys as iron-chromium and iron-titanium, alloy minerals for which the United States depends on foreign suppliers.

Advanced materials have been developed where there is a demand for them. The economic and political forces behind the development of advanced materials in other countries (military requirements, space research, shortages of domestic energy, and raw materials) are not strongly felt in Canada. By and large, industry in Canada has met its requirements for such materials with imported technology. There is now very little research in, or use of, advanced materials by Canadian industry. Canada is not in a strong position to respond to the challenges posed by the advent of advanced materials. It is at least decade behind in this and other technologies: "almost too far behind to know enough to panic."

But the competitive pressures posed by these new materials and in particular their substitution for traditional materials such as metals, of which Canada is a major exporter, may threaten the Canadian economy. If, for example, ceramics supplant superalloys in the fabrication of gas turbines, Canada will lose some markets for its nickel. No wonder those who responded to a recent survey conducted by the Canadian Manufacturers' Association ranked advanced industrial materials as the most interesting of new technologies.

Background

On October 4, 1957, the Soviet Union launched Sputnik I, the first artificial earth satellite. The Space Age had begun.

Materials with exceptional properties and performance are needed for building spacecraft. To provide such materials, engineers developed sophisticated techniques to control composition and microstructure and thus tailor the properties of materials (mechanical, magnetic, optical, electrical, and so on) to suit a wide range of applications. Scientific understanding of materials has been advancing vigorously. Six of the last 13 Nobel prizes in physics have gone to materials scientists.

The United States has led the development of advanced industrial materials, which it sees as vital to its defence and its economy. Their lead in this technology is hotly contested by Japan and Western Europe.

Materials that have recently emerged, or are now emerging, from the research and development stage of innovation, are now rivalling or improving on traditional materials in such qualities as specific gravity or resistance to corrosion. Aircraft makers, for instance, have reduced the weight of aircraft and the length of runway needed for takeoff and have increased payloads and

flying ranges by using strong, stiff, and lightweight composite materials.

Similarly, automakers can sharply reduce the weight of cars and thus save fuel by substituting new, lightweight materials for steel. Toyota, for instance, has just demonstrated a prototype connecting rod made of aluminum reinforced with alumina fibres, a composite material as strong and rigid as steel. Volvo predicts that the automobile of 2005 will weigh half what the average car weighs today, and will be constructed principally of aluminum, plastics, and magnesium.

Exotic materials can be costly; certain composites, for example, cost $35 to $300 a pound, and processing costs are high too. Cost, then, is the chief constraint on the widespread application of new materials. Only in space, not on Earth, can high performance justify high cost. However, as innovation brings the prices down, advanced materials will likely find many more applications.

Ceramics

Ceramics are compounds of elements found in abundance on earth: silicon, carbon, aluminum, oxygen, nitrogen. The raw materials are widely available and inexpensive. Processing these raw materials (they are powdered, purified, compacted, and fired) increases their value more than twofold.

Properties

The advantages of using ceramics lie in their:

- mechanical strength;
- inertness (ceramics can withstand acids, salts, solvents etc.);
- hardness (ceramics can cut steel);
- resistance to high temperatures;
- resistance to wear (good anti-friction properties);
- low density.

They have, however, certain disadvantages:

- They are brittle.
- Microscopically small cracks and flaws that can cause catastrophic failure are difficult to detect nondestructively. (This makes it difficult to control the quality of ceramic products and to estimate their lifetimes.)
- Machining and joining techniques need to be developed.

Applications

The two most promising areas of application of advanced ceramics are in electronic devices (insulators, capacitors, semiconductors, etc.) and heat engines (automotive diesel engines, gas turbines for aircraft). A range of ceramic biomaterials (materials that can be implanted in living tissue and with which bone can bond by growing into their pores) have been developed since 1969 for medical and dental uses such as load-bearing bone replacement. Ceramics are also used in cutting tools, wear parts, and in the chemical and the nuclear industries.

Semiconductors

The first transistor, made of germanium, appeared in 1947. Since the early 1950s, more semiconductors have been made from silicon than from any other material and this trend will continue. There are, however, specific devices such as diodes for which silicon is unsuited. The use of other materials, gallium arsenide in particular, is increasing because of such applications.

Ceramic Engines

One way to increase the fuel economy of a heat engine is to raise its working temperature, thereby increasing its thermodynamic efficiency.

Ceramics, which can withstand temperatures at which metals would melt, could make such engines possible. Parts in touch with the hot combustion zone would be made of ceramics: pistons and cylinder liners based on zirconium, for instance, or turbocharger rotors of silicon nitride. A ceramic diesel engine, for instance, would not need to be cooled and might use turbines to scavenge energy from hot exhaust gases.

As well as diesels, ceramic gas turbines and even gasoline engines are also being developed and publicized. Their potential is hotly debated. The inherent brittleness of ceramics poses problems when used in stressed engine parts and techniques for mitigating this brittleness usually reduce the heat resistance of the ceramic material.

Research and development in the United States and Europe, aided by government, has been impelled by military requirements for gas turbine engines for aircraft and diesel engines for tanks. Japan, where research is also government-aided, has concentrated on automotive engines. The Japanese have operated a small, prototype all-ceramic engine to demonstrate the full potential of these materials.

World sales of advanced ceramics are expected, by some experts, to increase from the current level of around $4 billion per year to some $30 billion by 2010. The commercialization of ceramic engines, beginning with that of diesels, accounts for most of this predicted increase.

Optical Fibres

Fifty United States cities now have telecommunications systems in which information is transmitted through optical fibres. Long-distance and even transoceanic systems incorporating such technology are planned for the 1980s. The present generation of optical fibres are made from fused silica. Signals transmitted through these materials require reamplification every 30 kilometres or so, and this represents a major expense in proposed long-haul systems. A search has begun for new materials with significantly lower intrinsic power losses than silica-based fibres.

Canadian Perspective

The number of ceramic researchers in Canada (under 200, working in about seven universities and in various government laboratories) is well below the critical number necessary to make significant innovation. In Japan, by way of comparison, some 2000 engineers supported by some 4000 technicians do research and development in ceramics. A handful of firms in Canada make ceramic electrical products, such as capacitors, for export. There is an important military market for these products.

The fact that only one international semiconductor conference has been held in Canada (in 1975) indicates something of this country's weakness in research in semiconductor materials and devices. Most of the research is done in universities, often in isolation from industry.

No electronic grade silicon is produced in Canada, although it is among the world's leading producers of other high-grade raw materials such as cadmium-mercury-telluride and gallium arsenide for semiconductor wafers. Unlike the Japanese and the Europeans, Canadians add little value to the materials they produce. Canadian producers cannot yet make large-area, gallium arsenide semiconductors that are almost free of defects, something the Japanese can do -- using materials from Canada.

Mastery of the emerging technology of gallium arsenide devices, which lags behind the mature technology of silicon devices, could lead to a controlling position in the telecommunications industry. The National Research Council's division of chemistry and the federal Department of Communications are engaged, with Bell-Northern Research, in a $17.4 million project to develop advanced gallium arsenide circuits. The role Canada could play in innovative applications of such semiconductors, many experts say, is potentially more important than its role in developing new semiconductor technology.

Japan has already begun to produce ceramic automotive parts and the United States seems ready to follow the Japanese lead. In Canada, there is no design or production of these new structural ceramic engine components. However, it is still possible for Canadian firms to gain a foothold in this new technology and participate at the leading edge in certain areas. The spin-off effects of Canadian ceramics innovation could help all industries that make equipment, such as pumps, which are subject to heavy wear.

Full fibre optic systems -- light detectors, emitters and interfaces with switching systems -- are being developed in Canada.

Composites

There are two types of composite material: polymer matrix composites, a familiar example of which is fibreglass, made up of glass fibres reinforcing a polymer matrix, and metal matrix composites in which metals such as aluminum, titanium, magnesium, and their alloys are used as matrix materials. (Copper, attractive because of its chemical stability, is emerging as a matrix material.)

To the matrix is added a second material, usually in the form of continuous fibres (or whiskers), to make a composite material. Graphite, Kevlar, glass and, to some extent, boron are the most common reinforcing materials. A wide range of other fibres is also available: silicon carbide, silicon nitride, carborundum, molybdenum, and tungsten.

Composites have been heralded as the material of the future for two decades.

Polymer-matrix components, initially used for interior panels to save weight in aircraft, are now being used to make ailerons, flaps, fairings, and rudders. Research on metal-matrix composites started 20 years ago, but such materials found few applications until boron/aluminum, developed in the late 1960s, was used in the space shuttle Orbiter.

To fabricate a part with resin or polymer matrix composites, successive layers of prepared, textile-like material are built up on a form. This minimizes the quantity of materials used and allows complex shapes to be made in a single piece. With metals, by way of comparison, many parts are machined down to final form, thus wasting material, and many discrete parts have to be consolidated into complex wholes. However, working with composites demands more interaction between designer, structural analyst, and fabricator than working with metals.

Much remains to be learned about composites. How susceptible are they to damage from impacts such as that of a mechanic's wrench dropped on a wing, for instance? How do the flaws introduced in manufacture or by damage in service propagate and cause instability or failure? How should damaged pieces be repaired?

Properties

The advantages of composites lie in their combination of stiffness and strength with light weight. Other properties can readily be controlled or extended over wide ranges: the coefficient of thermal expansion, for instance, can be kept to zero at virtually any temperature in graphite-epoxy composites.

Metal Matrix Composites

The advantages relative to metals include:

- higher strength to density ratio;
- higher stiffness to density ratio;
- strength at high temperatures;
- lower coefficient of thermal expansion;
- readily available raw materials.

The advantages relative to polymer matrix composites include:

- better high-temperature properties;
- higher transverse stiffness and strength;
- higher electrical and thermal conductivity;
- lack of sensitivity to moisture;
- better radiation resistance.

However, the following problems still need to be dealt with:

- high cost;
- immature technology (except for boron/aluminum technology);
- complex and expensive fabrication and joining methods;
- limited service experience.

Applications

The principal uses of both polymer-matrix and metal-matrix advanced composites in North America are in the aerospace industry, and until new production processes bring costs down, this will continue to be the case.

Of the two kinds of composites, polymer matrix composites are the more mature and have found more application outside the aerospace industry. Graphite-epoxy laminates, for example, first developed for fighter aircraft structures, are now being used in ships, automobile leaf springs, sporting goods, and other products.

Polymer matrix composites, some claim, are destined for large-scale applications in automobiles; they could confer savings in weight and in the ability to make complex structures in one or a few parts. Others point out, however, that reliable composites have yet to be approved in critical, civilian aircraft structures; and that more work is needed, especially on thermoplastic matrices, before they are widely used in automobile structures.

To mould a specific shape using current methods, the fabricator usually lays up the composite materials by hand and waits while the part cures. A lot of effort has been made in the United States to automate these procedures. The introduction of shaping equipment, whether manual or automated, into

an automobile plant would entail retooling on a very large scale and the curing cycle associated with composites would impose fabrication rhythms unsuited to automobile assembly as well as high production costs.

Such constraints on the diffusion of composites could be overcome by the development of thermoplastic matrix materials, which in turn could lead to systems for inexpensively stamping out parts from composites. Currently, however, composites are, by and large, too expensive to justify the fuel savings in cars that their reduced weight could confer.

Although advanced materials could be used to make cars lighter and more fuel-efficient, some argue that the same results would be achieved, simply and inexpensively, by making small, simple cars of conventional materials.

The use of composites in sport and recreation equipment increased very rapidly during the 1970s and now grows slowly. Many potential users await less costly and more efficient production techniques.

Canadian Perspective

Composite materials have been developed in the United States, and elsewhere, through the coordinated and government-supported efforts of producers of materials and aerospace manufacturers.

In Canada, both Canadair and De Havilland are using fibre-reinforced composites in airframe secondary structures. Composites account for about 6.5 per cent of the structural weight of the Challenger aircraft, for instance. The raw materials (fabrics pre-impregnated with polymer resin) are imported from the United States; the design, processing, inspection, and certification of parts are done in Canada. Though some say that Canada should have businesses supplying "pre-preg" materials, others point out that the domestic market is small (only about $0.25 million worth of these materials are bought in Canada per year) and that Canada needs businesses that innovate in applying these materials. The aerospace industry should be supported, they add, because it (rather than research and development) drives innovations in application by other industries.

Metals

Of the more than 100 chemical elements known, 86 are classified by chemists as metals and these constitute almost all of the elements found in nature. The most commonly used of the metals is iron, followed by aluminum. In practice, most metals are used in composition with other metals, that is, as alloys.

In response to competitive pressure from exotic new materials, metal producers are deploying exotic processing techniques to make more sophisticated metals, tailored to specific niches in the market.

Traditional processes such as casting and hot and cold working control the properties of metals in bulk. Rapid solidification is an example of the new process, which allows materials with novel microstructures and new and improved properties to be obtained. The fine-grained steels (and other materials) made by this new process are tougher, easier to machine, and easier to work while hot than conventional steels cast as ingots. The process was first developed to produce nickel-based alloys with strength at very high temperature for use in gas turbine parts.

Other techniques for producing novel microstructures, and hence novel properties, in traditional metallic materials include isothermal forging, hot isostatic pressing, and superplastic founding.

Metals, for centuries unchallenged, are now threatened by plastics and ceramics. At first this threat was confined to applications in which strength and toughness, characteristic qualities of many metals, were relatively unimportant. Now, with the development of high-performance ceramics and structural plastics, metals face competition in almost all their applications.

The telecommunications industry, traditionally a major copper user, is switching to new technologies, such as satellite com-

munications and fibre optics, and reducing its use of copper. Similarly, aluminum is supplanting copper for use in cables for overhead electric power transmission lines. One of the richest sources of copper in the world, it is said, is New York City, where old telephone cables are being replaced by fibre optic cables.

Properties

In practice, metals are defined by their properties. Typical metals are:

- malleable;
- ductile;
- good conductors of heat and electricity;
- opaque;
- easily fused.

Applications

Iron

Iron is the principal raw material for steel, the most widely used of all metal products with ubiquitous applications.

Copper

Most copper is consumed in producing wire and cable, especially for underground and indoor use. Automobile radiators and other transportation uses are another major application.

Aluminum

Aluminum is supplanting copper in applications such as electric power distribution, air conditioners, and refrigeration equipment.

Alcan-UK and Alcoa-US have developed aluminum-lithium alloys -- strong, stiff, 10 per cent lighter than traditional aviation aluminum, and readily worked by conventional metalworking techniques. These new materials will provide an alternative to Kevlar and graphite-epoxy composites for the next generation of civil and military aircraft.

Zinc

The principal use of zinc is in galvanizing, and the principal consumer is the construction industry.

Nickel

Stainless and speciality steels account for half of the Western world's nickel consumption. A further quarter of the consumption of this metal is for plating applications.

Canadian Perspective

Canada is one of the world's major producers and exporters of metals: metals account for 5 per cent of Canada's gross national product and 20 per cent of its export earnings. The demand for Canadian copper, zinc, nickel, and iron ore may decrease as advanced industrial materials penetrate markets traditionally held by metals.

Canadian steel producers, for instance, are challenged by producers of advanced nonmetallic materials, as well as by producers of nonferrous metal alloys, for steel's traditional share of the market.

More serious than competition from other materials is competition from offshore producers. Brazil, South Korea, Indonesia, and other developing countries can now sell merchant-quality steels in Canada for less than Canadian steelmakers can. The response to these challenges is to invest in sophisticated new processing technology, usually developed outside Canada, for making advanced steels.

Rapid solidification technology can be applied to a variety of alloys, including steels and aluminum. Benefits include increased hardness, better corrosion resistance, and better magnetic properties. Alcan is the only company in Canada currently using and developing such technology.

Powder metallurgy involves the production of finely divided metal powders and their union through heat and pressure. Canada has a dozen or so companies whose main business is supplying bulk metal powders, principally iron and nickel, for fabrication in other countries. Two of these producers have substantial research and development programs in Canada and are developing speciality metal powders for high-technology applications. Most of the producers benefit from research

work performed by their corporate parents in the United States.

Polymers

Polymers, macro-molecules of great molecular weight, are formed when many molecules of the same compound unite. Cellulose is an example of a natural polymer. Polymers were first synthesized early this century. Synthetic polymers are known popularly as plastics because at some stage in their manufacture, they can be shaped and molded. Synthetic fibres, stronger and more versatile than natural ones, were developed in the 1940s, making it possible to use plastics as structural materials. Polymer technology has advanced rapidly in recent decades and has had a widespread impact.

The quantity of plastics now consumed in North America is exceeded in sheer bulk only by wood, steel, and concrete. Moreover, the growth of consumption of specialized polymer alloys and blends is twice as high as that of all plastics.

The market for polymers is dynamic. To meet its demands, researchers are developing new materials and new processing techniques. Polymer science is embryonic, large gaps remain in our knowledge of why and how such materials work. In the future, robots will run many plastics plants and computers will improve production efficiency and economy. (Robots and computers will play a large role not only in plastics plants but also in metal foundries and other plants where materials are processed and fabricated).

Properties

The advantages of polymers stem from a combination of features: they are usually strong, tough, chemically stable, light-weight, easy to work, and well suited for making complex shapes in a single part. In fact, polymers can be designed to have properties that range widely; from ductile to brittle, from soft to hard, and so on. This wide range of potential properties reflects the enormous variety of the molecular chains that make up polymers.

Per unit volume, synthetic resins are less expensive than most metals, and the difference in cost is expected to increase through this decade. The strength of plastics is increasing rapidly; some high-performance polymers now have strength per unit weight equivalent to, or even greater than, that of ordinary steel. (Steel and other metals of more than ordinary quality are being developed precisely because of the growing competition from plastics and ceramics.)

Applications

Tool handles, gasoline tanks, automotive panels and signal lights, luggage, drain-pipes -- plastics have found applications in an extremely wide range of industrial and consumer products.

Aircraft

The most dramatic current applications of polymers are in load-bearing aerospace components. Polymeric materials constitute a significant fraction of the total weight of a number of currently-produced commercial aircraft. Initially used as interior panels and frames to save weight, they are now being used for making ailerons, flaps, fairings, rudders, and other critical components; and the next generation of aircraft will use high-performance polymer matrix composites in primary airframe structures.

Replacing Metals

Contemporary engineering and multicomponent plastics compete successfully with metals because they offer equivalent properties for lower energy content. The energy equivalent of the hydrocarbon feedstocks that end up as polymers is far less than that consumed as fuel to produce metals and the amount of fuel used in producing polymers is low.

Some time ago, for instance, plastics replaced metals in the bodies of portable tools; nylon sprockets for bicycle and motor cycle chains, unimaginable a few years ago, are now in commercial use. It has been predicted that by 1990 plastics will account for 30 per cent by weight of the average North American car.

However, plastics have won the easy applications. The rate at which they replace metals will likely slow down.

Conducting Polymers

Not least among the valuable properties of polymers is that they are good electrical insulators. Scientists are finding ways to make polymers conduct electricity, and this will lead to many novel applications -- in photovoltaic cells, battery electrodes, and other electronic devices. Conducting polymers are at the laboratory stage of development.

Canadian Perspective

Canada exported about $710 million worth of bulk resins and imported about $1.4 billion worth of plastics in 1983. In its trade in polymers, as in many other materials, Canada specializes in supplying raw materials. Canadian research and development efforts in such industrially significant areas as thermodynamics and mathematical modelling of plastics processing are weak.

Canada, some observers say, is a decade and more behind other countries in the field of advanced industrial materials. At the very least, Canada should have enough technical people versed in advanced materials to monitor and import technology developed elsewhere. Ideally, Canada should select niches in the general field of advanced industrial materials in which its industries could successfully specialize. This would require cooperative interaction between government, industry, and universities, and a national plan to focus the research effort; a plan such as that being elaborated for the United States by its National Critical Materials Council, created in July 1984.

Constraints

Some of the constraints impeding research in and diffusion of advanced materials in Canada are listed below.

Branch Plants

Canadian corporations, in general, spend relatively little on research and development compared to corporations in other industrial countries. This is not for lack of government incentives: some 70 per cent to 90 per cent of research expenditures can be recovered through tax rebates. Rather, it is attributable to the attitudes fostered in branch plants.

For example, none of the companies that make up the aerospace industry, by most measures the leading high-technology industry in Canada, have permanent departments for research in materials. Most of the larger firms (Pratt and Whitney Canada, Rolls Royce, Boeing of Canada) are subsidiaries of American or British firms. Rather than develop new materials and processes here, they tend to rely on their corporation's research and development centres outside Canada. Thus the Canadian aerospace industry is an important user of advanced materials, but does not engage heavily in the development of new materials. Nor does it stimulate the development and use by other industries of such materials -- an important spin-off mechanism by which materials technology diffuses.

Access to Know-How

Information on advanced materials does not flow freely across national boundaries. In particular, the United States has identified technologies critical to the application and rapid advancement of weapons (such as certain composites used in missiles) and prohibits Canadians and other foreigners from access to information on, or samples of, such materials.

Small Domestic Market

The Canadian market is too small, some say, to pull the development of novel materials. If successful research is to pay off, access is needed to a larger market than Canada can provide. However, that this is a real constraint to developing expertise in materials is not universally accepted. In the context of polymers, for instance, the Canadian market is comparable in size to the home markets of the very profitable Dutch or Korean plastics manufacturers. And despite the relatively small size of the domestic market, Canada's telecommunications industry innovates and prospers.

Raw Material Tradition

As one moves from raw material to finished product, one adds value and provides jobs. But Canadians have always prospered from the export, in raw form, of the materials with which their country is richly endowed. The traditions fostered by this trade discourage innovation, particularly innovation in advanced materials.

Lack of Innovation Entrepreneurs

Paper entrepreneurs, trained in law and accounting, are rewarded for costly takeovers and mergers that do not create jobs or new products; innovators, who do create jobs and goods, are not rewarded, and capital invested in mergers is not available for investment in innovation ventures.

By way of comparison, Japanese investors in innovation require a 3 per cent rate of return; in Canada, they require at least 16 per cent; engineers and scientists account for 400 out of every 10 000 Japanese citizens, lawyers and accountants for four in 10 000. In a random sample of 10 000 Cana-

dian (or American) citizens, there will be only 70 engineers and scientists, and 50 lawyers and accountants.

Actors and Roles

Government

Government plays a dominant role in Canadian science. In both Canada and the United States, the proportion of scientists and engineers in the total population is approximately the same; however, one-quarter of Canada's technocrats work for the government as opposed to one-tenth in the United States. More than half of the research carried out in Canada is directly funded by government.

One school of thought holds that return on investment is best realized when research centres are decentralized rather than concentrated in Ottawa. A second school strongly contests this, maintaining that if industry fails to take the lead in doing research, government will have to do so, and this requires a strong central coordination.

There is no disagreement about the need for government research to be carried out in association with universities and industry. One way of doing this is to introduce collective research institutes, in which major companies in an industrial sector pool their resources and work jointly with university and government laboratories. Collective research and development works successfully in Europe; American companies in sectors spurred by Japanese competition, such as microelectronics and fifth-generation computers, are following the European model.

Though not now used in this way, government contracts for advanced technology, awarded through the Department of Supply and Services, could be a powerful tool for directing and supporting research. They are particularly useful in that they work through market pull, and can help prime the market pull of the future. That is, procurement can be used to create a demand in areas of technology in which the time between development and payoff is dauntingly long. It is, of course, far easier for high-technology companies to survive and prosper when they receive government contracts for large production runs than when they have to wait for the market to justify their research.

Government should coordinate, create essential conditions for, and support innovation in materials, as it did, successfully, in telecommunications.

The Natural Sciences and Engineering Research Council is the federal agency that funds university research. Total NSERC grants have been increasing; but university researchers point out that these increases have been offset by decreases in grants from provincial governments.

In September 1984 NSERC awarded the first strategic grants, totalling $5.1 million, in the newly created area of industrial materials and processes.

Universities

Research on materials in Canadian universities is fragmented, and rarely translated into industrial technology. University researchers say they are willing to work with industry on industrial problems. Industrial liaison offices and innovation centres at universities bear this out.

However, the two sectors sometimes come into conflict. Industrial people say academics do not understand the market. Industrialists fail to communicate their needs, the academics reply. Only 10 per cent to 20 per cent of university research funds come from industry.

Training students to work on materials is difficult because the public, from whom such students are recruited, is not aware of the shift to engineered materials. Nor are there many university teachers specialized in the field. Large companies do not want trained specialists; rather, they want people who understand the fundamentals of chemistry, physics, and related disciplines and who can be trained on the job. Small companies, in contrast, do want trained specialists.

There is disagreement over whether the supply of PhD-level graduates can meet current industry and government needs. There should and could be more jobs in industry for

more graduate students specialized in advanced industrial materials if industry grasps the opportunities presented by the new technologies.

To diffuse the new technology of materials through Canadian industry efficiently will require, among other things, that undergraduate engineers work with more and better laboratory equipment and that researchers in university, government, and industry laboratories have more mutual exchanges.

Industry

Innovation tends to work best when pulled by the market, not driven by technology. Industry, being closest to the market, must lead in materials innovation. The interest shown by Canadian industrialists, however, in developing, exploiting, or responding to the advent of advanced materials has been insufficient to drive innovation. In their judgement, apparently, innovation in materials would be unprofitable.

Industrial interest in materials may be low because of such constraints as lack of time to respond to rapid technical change, lack of in-house research capability, or lack of access to the research findings needed to make innovative applications. Constraints such as these could be overcome through the coordinated efforts of industry with government and universities.

Opportunities

In all four areas of advanced industrial materials reviewed in this report (ceramics, composites, metals, and polymers) Canada is seriously lagging behind the United States, Europe, and Japan.

Certain promising foci for Canadian efforts in developing and utilizing materials stand out: automotive parts and certain conducting and electronic materials. Some polymers are also promising. The list below shows the principal opportunities for Canadian efforts suggested by participants at the three workshops sponsored by the Science Council of Canada.

Microstructures. For the most part, the chemistry of the substances available for use as materials is well known. However, the behaviour of substances at surfaces and interfaces is not well understood. It is microstructures, both in interiors and at surfaces, that largely affect properties. Such fundamental research would, among other things, suggest ways to join materials and to apply coatings to their surfaces.

Wood fibre composites. Potential building materials. The pulp and paper industry in Canada is remarkable for its declining levels of research, and, in particular, for its indifference to the opportunities and threats of advanced materials.

Gallium arsenide. Research on this and other materials is needed for application in microelectronics and telecommunications.

Fine particle technology. Forming new materials from particles less than one micron in diameter could lead to improvements in catalysts, coatings, and paints.

Silicon nitride. Powders for this and other advanced ceramics, which could be processed in Canada, are imported from Japan.

Rapid solidification. This is a promising technique for new metal alloys.

Surface modification. This includes processes for modifying surfaces by means of directed energy, such as plasma spraying, ion implantation, and laser glazing.

Asbestos. Research is needed on safe methods of handling asbestos.

Recycling. New methods of recycling metals, glass, and paper could be developed.

Tests. Non-destructive and other tests for estimating reliability and service lives of exotic materials subjected to fatigue, corrosion, etc. are needed.

CAD/CAM. Computer-assisted design and manufacturing is becoming increasingly important.

Conclusions

Those closest to research and development, working in government laboratories and universities, tend to advocate improving Canadian capabilities in basic invention, while those closest to the marketplace tend to emphasize the need to find new applications for the existing technology of advanced materials.

To determine opportunities that Canada might be missing, a sector-by-sector analysis should be made of industrial applications of materials. This analysis should cover not only the aerospace, automotive, microelectronic, and telecommunications sectors, but also industries now using traditional materials.

Canadian industry must play a leading role in the process of identifying, through consultation with many participants, those advanced industrial materials of strategic importance for Canada.

The links between industry, government, and universities must be strengthened and new ones forged. Collective research institutes are one way to do this.

ADDENDUM: QUESTIONNAIRE AND RESPONSES

To continue the process of consultation that began in the workshops, the Science Council distributed copies of the preceding paper with a questionnaire to the 275 people who had been invited to attend the workshops. Forty-five people responded to the questionnaire before 1 April 1985. Of the 45 respondents, eight (18 per cent) held positions in government agencies, 17 (38 per cent) in universities, and 20 (44 per cent) in industry or consulting firms.

The survey elicited some interesting and detailed comments. It also revealed several events that occurred partly as a follow-up to the AIM workshops. They range from small indicators of success, such as respondents stating they found the workshops were particularly timely and has stimulated rethinking of their own research perspectives, to some larger indicators of organizational change. Among the latter two stand out.

First, a dean at Queen's University mentioned that the workshops were partly responsible for stimulating a new initiative within the Faculty of Applied Science, the formation of a group on university-industry collaboration, called the Advanced Materials Technology Unit. Second, an assistant deputy minister of the Department of Regional Industrial Expansion pointed out that the Canadian Manufacturers' Association, following the initiative of the Science Council workshops, had held a seminar on the commercial applications of AIM. As an outcome of that, several industry associations and provincial research organizations approached the Department of Regional Industrial Expansion seeking assistance to form a national forum on AIM, to be led by the private sector. It would be designed to promote and increase awareness and understanding in Canadian industry of threats and opportunities resulting from new developments in AIM technologies and to seek consensus on appropriate action to encourage their more rapid diffusion.

The questions and a summary of the responses are given in the following pages. However, the following three quotations typify the general concerns and viewpoints of most of the respondents:

> In Canada we have too little real technological leadership in our industries and too little visionary thinking about the relationship between an economy based on raw materials and one based on the demands of products and processes. We have, in short, a surfeit of lawyers, MBAs, and managers whose expertise lies in the business section of the Globe and Mail...The lesson of the semi-conductor and fibre optics industries is not one of technological miracles. It is first and foremost that no development is possible without the production of high-quality basic materials, and secondly that materials development must be linked directly to product development.

> It is vital, in my opinion, that research in the universities lead in the not-too-distant future to real Canadian products and real Canadian jobs. I feel it is very important that the potential of any research to achieve this goal should be proven from the outset. The two areas in which Canada could become a world leader are in piezoelectric ceramics and their associated ultrasonic devices and superionic ceramics.

> Broadly we are faced with a lack of competent research people with no evidence that this can be expected to increase in the future.

Question 1

Do you disagree with any of the specific findings of the attached working paper concerning such things as:

- the choice of important emerging AIM technologies?
- the evaluation of the Canadian situation?
- the opportunities the emerging technologies represent?
- the constraints on seizing those opportunities in Canada?

Six (13 per cent) of the respondents had no comment to make.

Twenty-two (49 per cent) agreed without demur to the findings of the working paper.

Seventeen (38 per cent) of the respondents disagreed with certain sections of the paper. Most of these quibbled over points of emphasis and interpretation in the paper. For instance, three respondents complained that research on steel had been neglected and two found the report too pessimistic. One commented: "The statement that there is no research and development in materials in Canada is wrong. What is correct is that there is no research and development on a reasonable scale that is industrially significant."

One participant disagreed with almost everything in the paper.

Question 2

What types of workshops would you recommend, if any, to follow up on the AIM conferences and to improve Canadian recognition and effective response in the AIM areas? What should be the explicit focus of each workshop?

Eight (18 per cent) of the respondents did not answer this question.

Fourteen (31 per cent) respondents felt workshops should be focused on specific technologies or materials. Among the topics they suggested were materials testing, formable steels, advanced ceramics, and biomaterials. Such workshops, a number of people remarked, should consist of practical briefings by experts on the advantages and disadvantages of each material, on the likely direction of its development, and on its possible uses.

Ten (22 per cent) respondents put forward a variety of suggestions for conference themes, including government policy (particularly taxation), information exchange, collective research institutes, and regional expertise. One of these respondents proposed a Council on Materials modelled on NSERC (the Natural Sciences and Engineering Research Council). Another recommended "workshops at which titles and degrees are left in the checkrooms with the boots and coats." The major theme of the workshop should be "What exactly do we want to do? How are we going to do it? What [are we] willing to sacrifice to get it done?"

Five (11 per cent) of those responding recommended that user groups or markets be the focus for the workshops.

Four (9 per cent) of the respondents said that the workshops should focus on specific industries, such as steel or pulp and paper. "An industry-by-industry analysis of the specific threats and opportunities would do much to reorient our industrial strategy," said one respondent. "It has been said that every threat is an opportunity if viewed from a different perspective."

The remaining four (9 per cent) respondents felt that nothing of significance had been accomplished by the workshops held in 1984 and that the time had come for specific recommendations and a plan of attack. One of these four recommended that the research community "convene a meeting of the most knowledgeable and active people in the country, clarify what is to be done, and act on it."

Question 3

How can we address the problem of poorly articulated industrial pull which makes it difficult to generate an effective response on the part of university researchers?

Seven (16 per cent) of the respondents did not answer this question.

According to four (9 per cent) of the respondents, the question need not be addressed at all: well-articulated industrial pull would follow automatically from good policy, one of these four claimed and another one said that university research should not be product-oriented.

Twelve (27 per cent) of the respondents made miscellaneous suggestions. Some wanted to maintain the status quo: "I think there are a number of efforts going on in this area and patience will allow them to bear fruit," wrote one respondent. Some of the suggestions were for industrial initiatives:

"Choose a field, such as conductive polymers, in which the market is worldwide, hence shipping distances and tariff barriers are relatively insignificant and the rewards for innovation are large," wrote another respondent. And some suggestions touched on possible government initiatives, such as recruiting technical know-how from overseas by encouraging skilled people to immigrate to Canada.

Ten (22 per cent) of the respondents proposed various mechanisms of cooperation between government, university, and industry in conducting research as a way to articulate industrial pull. Two of these respondents specifically supported establishing collective research institutes. Another two proposed that institutes for materials research on university campuses. Industry would direct the research in these institutes and, with government, financially support them. Another proposal was for university researchers to spend one out of every five years working in industry. One respondent proposed that NSERC's university/industry workshops could serve as a forum for the articulation of industrial pull.

Nine (20 per cent) of the respondents talked about communications in their answer to this question. Among their suggestions were the following: industry should signal its needs to academics by hiring graduates trained in materials technology or by completing questionnaires; governments should set up electronic data files on new materials technology and update them monthly; personal contacts should be fostered between people in universities and in industry.

Three (7 per cent) of the respondents suggested financial techniques to help articulate industrial pull. One, for instance, suggested that NSERC give large operating grants to those university researchers who consult with industry. "Development will proceed only when entrepreneurs become convinced that they have a reasonable chance of making a profit," said another respondent. "Currently missing are resources to tune inventions to market needs and demonstrate them in ways that are convincing to entrepreneurs. I am talking of pre-venture capital." The NRC (National Research Council), he continued, has tried to mount programs offering capital to industry but these have not won political approval.

Question 4(a)

What specific policy recommendations to government should be made to:

- encourage R&D in this area?
- encourage industrial exploitation of emerging AIM technologies?

Seven (16 per cent) of the respondents did not answer this question.

Fourteen (31 per cent) of the respondents made specific proposals about funding. More money, they felt, should be made available for materials research and development, through direct grants, tax incentives, or government purchases.

Two of this group of respondents thought that more money should flow through NSERC. This granting agency, one of them claimed, is now the only source of funds for equipping university laboratories, but it has neither sufficient funds nor sympathy for researchers who, in order to do work of interest to industry, need extremely expensive equipment -- microprobes, scanning electron microscopes, and other analysis machines, for instance, each of which costs at least half a million dollars. Cooperative research, this respondent added, would allow costly equipment to be shared. "In my lab alone," another respondent complained, "there is a need for approximately $250 000 worth of updating, and for new equipment, space, and technical support. As things stand now I have no way at all to get that much money."

Rather than grants, which slow down and complicate the innovative effort, a respondent argued, tax incentives should be used. Six (13 per cent) of the respondents specifically mentioned tax incentives. Among them was one who pointed out that such incentives tend to change with governments, but that "the investment in the establishment of a research centre is considerable and long-term and requires confidence inspired

by consistent policy." The object of tax incentives, another suggested, should be to encourage foreign-owned companies to do research and development in Canada. The suggestion was also made that market research, "in which Canadian companies are weak," should be treated as research for tax purposes.

Twelve (27 per cent) of the respondents made specific proposals about policy and institutions. Four of these mentioned the need for government to elaborate a strategy for advanced industrial materials, to define goals, to target promising technologies, to fund coordinating structures, and to create incentives for research and development. Of these four, two mentioned the prior need to elaborate a national policy for science or economics. Among other specific proposals made were: to create an NRC division for work on advanced industrial materials, to use crown corporations to launch new technologies, and to participate in research programs in the United States such as those at Battelle and Stanford on ceramics.

Nine (20 per cent) respondents supported encouraging research, development, and exploitation of materials technologies, without specifying how this might be done. "Do something, don't just talk," replied one respondent. "Promote high-quality, long-term R&D by any means necessary," replied another, "[and] abolish shibboleths about private versus public investment in R&D."

Other comments and suggestions made in response to this question were:

- hire fewer lawyers and accountants, more engineers;
- encourage innovation more than R&D;
- follow the Japanese model of joint facilities; concentrate on metals -- new alloys and applications using copper, nickel, zinc, etc.

Question 4(b)
To which governments and public agencies should these recommendations be addressed?

Nineteen (42 per cent) of the respondents did not answer this question. Some of the 26 (58 per cent) who did answer it, did so in a very general way, suggesting that recommendations should be addressed to "all" or to the "key" federal and provincial government departments, utilities, and crown corporations. Twelve respondents mentioned specific federal government agencies. NSERC was mentioned by five of them, NRC by four. Also mentioned were Communications, National Defence, Regional Industrial Expansion, Energy, Mines and Resources, Employment and Immigration, Ministry of State for Science and Technology, Parliament, and Revenue Canada. One of the respondents claimed that such recommendations should be addressed directly to provincial premiers and to the prime minister. "Remember what got the U.S. on the moon?" this respondent asked. "Commitment by the president."

Question 4(c)
In which kind of organization should such R&D be carried out?

Thirteen (29 per cent) of the respondents did not answer this question.

Ten (22 per cent) of the respondents specified industry or industrially-oriented research institutes as the organizations in which research should be done. Universities, said one, should be used for back-up or, added another, if academic production is evaluated by the production of profits rather than publications. Government involvement, said another respondent, should be reduced. On the question of government versus industry laboratories, one respondent wrote:

> I think the federal government laboratories have a role to play in such fields as agriculture, fisheries, and other fields in which the application of the technology is so dispersed that there can be little [direct] return to a body that is large enough to support the research. On the other hand, I cannot believe that universities or governments are close enough to the market to understand what must be developed if Canada is to move from a supplier of materials to a supplier of technological products.

Six (13 per cent) of the respondents suggested carrying out R&D in existing university, federal, provincial, and industry research organizations without specifying which ones.

In the opinion of five (11 per cent) of the respondents, fundamental research into materials should be carried out primarily in universities, with collaboration from government and industry, and with product development being done in industry laboratories.

Five (11 per cent) of the respondents answered the question by describing the qualities of the organization they would like to see doing research and development in materials. In the words of one respondent, the organizations should be those that "attract researchers of the highest possible quality" and, in the words of another respondent, they should have "the best people" and be located "in the best place."

Three (7 per cent) of the respondents felt that government laboratories, in particular those of NRC, should be the organizations charged with materials research. NRC, one respondent proposed, should then subcontract research and development in this field to small Canadian companies, that is, those with fewer than 100 employees and less than $10 million in annual sales. Another respondent praised the contract officers of NRC's Industrial Research Assistance Program as "the most cost-effective broadcasters of research innovation I have encountered."

Two (4 per cent) of the respondents supported the establishment of collective research institutes, in which researchers from all three sectors, government, industry, and university, would work together for periods of time.

Question 5

Do specialized networks need to be built in any of the AIM areas? Which groups should be involved and how should the network operate? What role would you like to play?

Ten (22 per cent) of the respondents did not answer these questions.

Twenty-nine (64 per cent) of the respondents had affirmative and specific answers to this question, and many of these asserted their willingness to play roles appropriate to their positions and interests.

Five (11 per cent) felt that networks would develop from collective research institutes. Two existing models for such collective research were cited. The staff at the Department of Communication's new Workplace Automation Centre is composed of equal numbers of government scientists and researchers seconded from industry. The McMaster Institute for Polymer Production Technology has 16 member companies each paying a membership fee of $15 000 U.S. a year.

A number of respondents pointed to existing organizations that were already functioning as networks for information exchange and personal interaction, if not for collective research. Mentioned were the Canadian Plastics Institute, the Advanced Materials Technology Unit at Queen's University, NRC's Industrial Materials Research Institute, NSERC's industry-university workshops, and the Science Council.

Others specified the materials or technologies around which, in their opinion, networks should be organized. Biomaterials, ceramics, metal alloys, polymer blends and composites, and semiconductor technologies were mentioned.

Some of the respondents specified the techniques and objects of the communications that they would like to see flow through networks. One respondent, for instance, felt that networks should be based on computerized data banks. Another felt that networks should be designed to provide innovators with the opinions of industrial people on the merits of an innovation.

Five (11 per cent) of the respondents supported the idea of networks in general without specifying the areas of specialization of, or the roles they would like to play in, such networks. For example, one of them stated that networks are needed "only on an ad hoc basis."

In the opinion of one respondent, networks are of dubious value. In the view of another, they are of value only in basic research areas. "When it comes to the area of products," this respondent argued, "industry must necessarily strive for a proprietary position. How the proprietary position can be made compatible with a network is difficult to understand."

Question 6

Has this working paper proved useful to you? If so, in what way?

Seven (16 per cent) of the respondents did not answer this question.

Thirty-four (76 per cent) of the respondents found the working paper useful. Most of these considered it an interesting and concise summary. Among the comments they made were the following:

- it has initiated thinking on the role of advanced materials in our organization;
- it may persuade the uninformed of the importance of advanced materials;
- it indicated the extent and scope of the problem, which is, in effect, a national emergency.

Four (9 per cent) did not find the working paper useful.

Conseil des sciences du Canada
Science Council of Canada

Document d'étude

Les matériaux industriels de pointe : Perspectives canadiennes

Aant Elzinga
Sean McCutcheon

LES MATERIAUX INDUSTRIELS DE POINTE : PERSPECTIVES CANADIENNES

par Aant Elzinga et Sean McCutcheon

Document d'étude rédigé
pour le Programme des sciences et technologies émergentes
du Conseil des sciences du Canada

Mai 1985

Les documents d'étude sont des documents de travail que le Conseil des sciences du Canada met à la disposition des personnes ou groupes intéressés, en quantité limitée, pour connaître leurs réactions.

Les vues exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur; elles ne reflètent pas nécessairement l'opinion du Conseil des sciences du Canada.

Vous pouvez vous procurer gratuitement des exemplaires de :

Les matériaux industriels de pointe : Perspectives canadiennes

auprès du :

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Ontario)
K1P 5M1

Copies of
Advanced Industrial Materials: Canadian Perspectives and Opportunities
are also available free of charge

Ministre des Approvisionnements et Services, 1985

N° de catalogue SS21-5/1985-3F
ISBN 0-662-93250-1

TABLES DES MATIÈRES

Préface 5

Sommaire 7

1. APERÇU 9
Importance éventuelle 9
Informations de base 9

2. MATÉRIAUX 11
Céramiques 11
Propriétés 11
Applications 11
Perspective canadienne 12

Composites 13
Propriétés 13
Applications 14
Perspective canadienne 14

Métaux 15
Propriétés 15
Applications 15
Perspective canadienne 16

Polymères 16
Propriétés 17
Applications 17
Perspective canadienne 18

3. LA TÂCHE DE CHACUN 19
Contraintes 19
Les usines satellites 19
L'accès au savoir-faire 19
Un marché national restreint 19
La tradition des matières premières 19
Le manque d'entreprises innovatrices 19

Les acteurs et leur rôle 20
Le gouvernement 20
Les universités 20
L'industrie 21

Perspectives 21

Conclusions 22

Addenda -- Questionnaire et réponses 23

PRÉFACE

Des progrès rapides se produisent dans le domaine de la technologie des matériaux. L'importance des matériaux industriels de pointe pour l'avenir économique et industriel du Canada peut se comparer à celle de la micro-électronique et de la biotechnologie. En 1984, le Conseil des sciences du Canada a décidé d'encourager un débat et des consultations générales dans ce domaine; il a organisé trois ateliers à Vancouver, Toronto et Montréal. Dans le cadre de cet effort, nous avons bénéficié de la collaboration et du soutien financier des ministères fédéraux de l'Energie, des Mines et des Ressources (Secteur de la politique minérale et Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie) et de l'Expansion industrielle régionale (Direction générale de l'innovation industrielle). Nous désirons également souligner l'intérêt manifesté par la Discovery Foundation de la Colombie-Britannique, l'université de Toronto et l'Institut de génie des matériaux du Conseil national de recherches du Canada, et les remercier de leur aide. L'Association canadienne de la gestion de recherches a également prêté son concours pour l'un de nos ateliers.

Le présent rapport est essentiellement un condensé des communications présentées et des idées émises lors des ateliers. Le Conseil des sciences ne partage pas nécessairement les opinions qui y sont exprimées. Il a été préparé par Aant Elzinga et Sean McCutcheon dans le cadre du processus consultatif entrepris par le Conseil des sciences pour la mise en oeuvre de son Programme des sciences et technologies émergentes. M. Elzinga était l'agent de projet chargé de ce volet du programme. Quant à Sean McCutcheon, il est rédacteur pigiste.

Guy P.F. Steed
Directeur adjoint de la recherche

SOMMAIRE

Les progrès de la technologie des matériaux aux Etats-Unis, au Japon et dans d'autres pays peuvent avoir une incidence sérieuse sur l'économie canadienne à mesure que des nouveaux matériaux comme les composites, les céramiques et les polymères remplacent les métaux traditionnels qu'exporte le Canada.

Si l'on innovait dans ce domaine, les matériaux industriels de pointe représenteraient une promesse plutôt qu'une menace pour l'économie canadienne. Actuellement, toutefois, on retrouve très peu d'applications de matériaux innovateurs au Canada, et les laboratoires industriels, gouvernementaux ou universitaires canadiens font très peu de recherche ou de développement dans ce domaine.

Le Conseil des sciences du Canada a organisé trois ateliers sur les matériaux industriels de pointe au cours de l'été 1984 : à Vancouver, Toronto et Montréal. Le présent document esquisse les grands thèmes des communications présentées à ces ateliers et les points de vue exprimés par les représentants des milieux gouvernementaux et universitaires, et ceux du monde des affaires. Il renferme également certaines informations techniques ainsi qu'un addenda présentant les résultats d'un sondage effectué auprès des participants aux ateliers.

Importance éventuelle

Il existe en Europe, au Japon et aux Etats-Unis un ferment d'invention et d'innovation en matière de matériaux. Des nouveaux matériaux comme les métaux amorphes, les céramiques de pointe et les composites à haute température remplacent les anciens matériaux avec une rapidité étonnante. Pour éviter d'être supplantés, les matériaux traditionnels (par exemple l'acier) ont dû se perfectionner. Nous assistons peut-être à un changement technologique aussi important que la mise au point de la puce de silicium.

La concurrence commerciale est le moteur de toute cette activité. En améliorant la performance et en diminuant le coût d'un produit, les matériaux techniquement raffinés peuvent lui donner la chance dont il a besoin pour se tailler une place avantageuse sur un marché international très compétitif.

Les Japonais, "ces 120 millions de personnes agrippées à un rocher dénudé", ne réussissent à prospérer qu'en transformant des matières premières en produits d'exportation finis, comme les automobiles. Les exportations japonaises incorporent la technologie de pointe. Afin d'aider à mettre au point des produits d'exportation sophistiqués, le gouvernement du Japon a, entre autres initiatives, organisé et financé un grand programme en vue de mettre au point des matériaux céramiques de pointe qui seront utilisés dans les moteurs automobiles.

Les matériaux de pointe possèdent une importance stratégique tout autant que commerciale. Par exemple, des alliages fer-aluminium sont mis au point par des chercheurs américains pour remplacer les alliages traditionnels comme le fer-chrome et le fer-titane, pour lesquels les Etats-Unis dépendent des fournisseurs étrangers.

Les matériaux de pointe ont été mis au point pour répondre à une demande ponctuelle. Les forces économiques et politiques qui président à la mise au point des matériaux de pointe dans les autres pays (besoins militaires, recherche spatiale, insuffisance énergétique nationale et manque de matières brutes) se manifestent très peu au Canada. Dans l'ensemble, l'industrie canadienne a compensé la demande de tels matériaux par une technologie importée. Actuellement, l'industrie canadienne mène très peu de recherches sur les matériaux de pointe et n'en utilise pas beaucoup. Le Canada est loin d'être à l'avant-plan lorsqu'il s'agit de relever les défis posés par la venue des matériaux de pointe. Il accuse un retard d'au moins une décennie dans ce domaine et dans celui des autres technologies : "il est presque trop en retard pour en savoir assez pour paniquer".

Cependant, les pressions concurrentielles exercées par ces nouveaux matériaux, en particulier leur substitution aux matériaux traditionnels comme les métaux, dont le Canada est un grand exportateur, pourraient menacer l'économie canadienne. Si, par exemple, les matériaux céramiques supplantent les super-alliages dans la fabrication des turbines à gaz, le Canada perdra certains débouchés pour son nickel. Il n'est pas étonnant que les répondants au sondage effectué récemment par l'Association des manufacturiers canadiens aient donné la première place aux matériaux industriels de pointe parmi les nouvelles technologies.

Informations de base

Le 4 octobre 1957, l'Union soviétique lançait le Spoutnik I, premier satellite artificiel gravitant autour de la Terre. Ainsi s'ouvrait l'ère spatiale.

Des matériaux possédant des propriétés et une tenue exceptionnelles sont nécessaires pour la construction des engins spatiaux. Afin de fournir ces matériaux, les ingénieurs ont mis au point des techniques sophistiquées pour contrôler la composition et la microstructure, et de ce fait mettre les propriétés des matériaux (tant mécaniques que magnétiques, optiques, électriques et autres) au service d'un vaste éventail d'applications. La connaissance scientifique des matériaux a fait des pas de géant. Six des 13 derniers prix Nobel de physique étaient des spécialistes en génie des matériaux.

Les Etats-Unis sont à l'avant-garde au plan de la création de matériaux industriels de pointe, jugés essentiels à leur système de défense et à leur économie. Leur avance dans ce domaine est âprement contestée par le Japon et l'Europe occidentale.

Les matériaux qui émergent ou ont récemment émergé des laboratoires de recherche rivalisent actuellement avec les matériaux traditionnels ou constituent une amélioration à des points de vue tels que la gravité spécifique ou la résistance à la corrosion. Les constructeurs d'avions, par exemple, ont réussi à diminuer le poids de leurs appareils et la longueur des pistes nécessaires pour le décollage; ils ont en même temps accru la charge utile et le rayon d'action grâce à des matériaux composites solides, légers et rigides.

De même, les constructeurs automobiles peuvent diminuer grandement le poids de leurs véhicules et, de ce fait, permettre d'économiser l'essence en substituant à l'acier de nouveaux matériaux légers. Toyota, par exemple, vient de présenter un prototype de bielle en aluminium renforcé de fibres d'alumine, matériau composite aussi solide et aussi rigide que l'acier. Selon Volvo, l'automobile de l'an 2005 pèsera la moitié moins que l'auto moyenne actuelle et elle sera construite surtout d'aluminium, de plastiques et de magnésium.

Les matériaux exotiques peuvent être coûteux; certains composites, par exemple, coûtent de 35 à 300 $ la livre, et les coûts de transformation sont également élevés. C'est donc le coût qui est la contrainte principale dans l'application généralisée des nouveaux matériaux. C'est dans l'espace seulement, et non pas sur la Terre, qu'une performance supérieure peut justifier des coûts élevés. Toutefois, à mesure que les innovations feront baisser les prix, les matériaux de pointe trouveront sans doute des applications beaucoup plus nombreuses.

Céramiques

Les céramiques sont des composés d'éléments qu'on retrouve en abondance sur la Terre : silicium, carbone, aluminium, oxygène, azote. Les matériaux bruts sont largement accessibles et peu coûteux. La transformation de ces matériaux bruts (on doit les pulvériser, les purifier, les agglomérer ou les cuire) fait plus que doubler leur valeur.

Propriétés

Les céramiques présentent de nombreux avantages :

- résistance mécanique;
- inertie (les céramiques résistent aux acides, aux sels, aux solvants, etc.);
- dureté (les céramiques peuvent couper l'acier);
- résistance aux températures élevées;
- résistance à l'usure (bonnes propriétés antifriction)
- faible densité.

Elles ont toutefois certains inconvénients :

- elles sont fragiles;
- les fissures microscopiques et petites imperfections capables de provoquer une rupture catastrophique sont difficiles à déceler sans briser les matériaux. (Il n'est donc pas facile de contrôler la qualité des produits céramiques et d'évaluer leur vie utile);
- il reste encore des progrès à accomplir en matière d'usinage et de techniques d'assemblage.

Applications

Les deux domaines d'application les plus prometteurs des céramiques de pointe sont ceux des dispositifs électroniques (isolateurs, condensateurs, semi-conducteurs, etc.) et des moteurs thermiques (moteurs automobiles diesels, turboréacteurs). Un éventail de biomatériaux céramiques (matériaux qui peuvent être implantés dans les tissus vivants et avec lesquels l'os peut se souder en traversant leurs pores) ont été perfectionnés depuis 1969, pour des utilisations médicales et dentaires comme le remplacement des os portants. On utilise également des céramiques pour les outils de découpage, les pièces subissant des frictions, et dans les industries chimique et nucléaire.

Semi-conducteurs

C'est en 1947 qu'apparut le premier transistor, fait de germanium. Depuis le début des années 50, la majorité des semi-conducteurs sont fabriqués avec du silicium, plus que tout autre matériau, et cette tendance se poursuivra. Il existe toutefois des dispositifs particuliers, comme les diodes, pour lesquels on ne peut utiliser le silicium. L'utilisation d'autres matériaux, par exemple l'arséniure de gallium, s'accroît de plus en plus en raison de ces applications.

Moteurs en céramique

Une façon d'accroître l'économie de carburant d'un moteur thermique est d'augmenter sa température de fonctionnement, ce qui accroît son rendement thermodynamique.

Les céramiques, qui peuvent résister à des températures auxquelles les métaux fondraient, pourraient rendre possible ce genre de moteur; les pièces en contact avec la zone de combustion élevée seraient fabriquées de céramique, les pistons et les chemises de cylindres, d'une base de zirconium, et les rotors de turbocompresseurs, de nitrure de silicium. Un moteur diesel en céramique, par exemple, n'aurait pas besoin d'être refroidi et pourrait utiliser des turbines pour récupérer l'énergie des gaz d'échappement brûlés.

Tout comme les diesels, les turbines à gaz et même les moteurs à essence en céramique font aussi l'objet de mise au point et de publicité. Leur potentiel est chaudement débattu. La fragilité naturelle des céramiques pose des problèmes lorsqu'on les utilise dans des pièces de moteur appelées à subir une certaine tension; les techniques visant à corriger cette fragilité réduisent habituellement la résistance thermique des matériaux céramiques.

Aux Etats-Unis et en Europe, la recherche et le développement parrainés par le gouvernement ont été stimulés par les besoins militaires en vue de perfectionner des turboréacteurs et des moteurs diesels pour chars.

Le Japon, dont la recherche bénéficie également d'une aide gouvernementale, s'est concentré sur les moteurs automobiles. Les Japonais ont mis en service un petit prototype de moteur tout en céramique afin de démontrer le potentiel de ces matériaux.

Les ventes mondiales de céramiques de pointe passeront, selon certains spécialistes, d'un niveau actuel d'environ 4 milliards $ par année à quelque 30 milliards $ d'ici l'an 2010. La commercialisation des moteurs en céramique, à commencer par celle des moteurs diesels, compte pour la plus grande partie de l'accroissement prévu.

Fibres optiques

Cinquante villes américaines possèdent actuellement des réseaux de télécommunications utilisant les fibres optiques pour transmettre l'information et on prévoit, pour les années 1980, des réseaux de longue distance et même transocéaniques fonctionnant sur ce principe. La génération actuelle des fibres optiques emploie le silice fondu. Les signaux transmis grâce à ces matériaux doivent être réamplifiés à peu près tous les 30 kilomètres, ce qui représente une dépense importante pour les réseaux de longue distance envisagés. On a déjà entrepris des recherches sur des nouveaux matériaux ayant des pertes d'énergie intrinsèques beaucoup moins élevées que les fibres à base de silice.

Perspective canadienne

Le nombre de chercheurs en céramiques, au Canada (moins de 200, répartis entre sept universités et divers laboratoires gouvernementaux), est bien au-dessous du seuil critique nécessaire pour susciter des innovations importantes. Pour établir une comparaison, le Japon compte quelque 2 000 ingénieurs, aidés de près de 4 000 techniciens, qui font de la recherche et du développement dans le domaine des céramiques. Une poignée de firmes canadiennes fabriquent des produits électriques en céramique, comme des condensateurs, à des fins d'exportation. Il existe aussi un important marché militaire pour ces produits.

Le fait qu'une seule conférence internationale sur les semi-conducteurs ait eu lieu au Canada (en 1975) illustre bien les faiblesses de notre pays en matière de recherche dans le domaine des matériaux et des dispositifs à semi-conducteurs. La plus grande partie de la recherche s'effectue dans les universités, complètement à l'écart de l'industrie.

Aucun silicium de qualité électronique n'est produit au Canada, même si le pays est un des principaux producteurs mondiaux d'autres matériaux bruts de haut calibre comme le cadmium, le mercure, le tellurure et l'arséniure de gallium pour les pastilles des semi-conducteurs. Contrairement aux Japonais et aux Européens, les Canadiens n'ajoutent guère de valeur aux matériaux qu'ils produisent. Les producteurs canadiens ne réussissent pas encore à fabriquer des semi-conducteurs à arséniure de gallium de grande surface presque exempts de défauts, chose que les Japonais peuvent faire -- avec des matériaux canadiens.

La maîtrise de la technologie émergente des dispositifs à arséniure de gallium, qui ne réussit pas à rattraper la technologie déjà en place des dispositifs à base de silicium, pourrait permettre de contrôler l'industrie des télécommunications. La Division de la chimie du Conseil national de recherches du Canada et le ministère fédéral des Communications mettent en oeuvre, avec la section recherche de Bell Northern, un projet de 17,4 millions $ en vue de mettre au point des circuits de pointe à l'arséniure de gallium. Le rôle que pourrait jouer le Canada dans les applications innovatrices de semi-conducteurs de ce genre pourrait être, selon l'avis de nombreux experts, beaucoup plus important que celui de la mise au point d'une nouvelle technologie des semi-conducteurs.

Le Japon a déjà commencé à produire des pièces automobiles en céramique, et les Etats-Unis semblent prêts à emboîter le pas. Au Canada, on ne conçoit ni ne produit de composants de moteur en céramique, mais il est encore possible pour les entreprises nationales de se tailler une place au milieu de cette nouvelle technologie, voire d'atteindre le peloton de tête dans certains secteurs. Toutes les industries de fabrica-

tion de matériel fortement exposé à l'usure, par exemple les pompes, pourraient bénéficier des retombées des innovations canadiennes dans le domaine des céramiques.

Composites

Il existe deux genres de matériaux composites : les composites à matrice polymérisée, dont un exemple bien connu est la fibre de verre, qui se composent de fibres de verre renforçant une matrice polymérisée, et les composites à matrice métallique, dans lesquels des métaux comme l'aluminium, le titane, le magnésium et leurs alliages sont utilisés comme matériaux de matrice. (Le cuivre, intéressant en raison de sa stabilité chimique, apparaît de plus en plus comme matériau matrice.)

A cette matrice on ajoute un second matériau, d'habitude sous forme de fibres continues, pour fabriquer un matériau composite. Le graphite, le kevlar, le verre et, dans une certaine mesure, le bore sont les matériaux d'armature les plus connus, mais on peut aussi utiliser beaucoup d'autres fibres : carbure de silicium, nitrure de silicium, carborundum, molybdène et tungstène.

Depuis deux décennies, on considère les composites comme les matériaux de l'avenir. Les composants à matrice polymérisée utilisés auparavant pour les panneaux intérieurs des avions afin d'en réduire le poids sont maintenant utilisés pour fabriquer les ailerons, le carénage des volets et les gouvernails. Les recherches sur les composites à matrice métallique ont commencé il y a 20 ans, mais ces matériaux ont trouvé très peu d'applications jusqu'à ce que l'on mette au point, à la fin des années 1960, l'alliage bore-aluminium qui a été utilisé dans la navette spatiale Orbiter.

Pour fabriquer une pièce avec des composites de résine polymérisée, des couches successives de matériau genre textile sont superposées sur une forme. Cela minimise la quantité de matériaux utilisés et permet de fabriquer des formes complexes d'un seul tenant. Avec les métaux, par exemple, on usine de nombreuses pièces jusqu'à la forme finale, ce qui gaspille le matériau, et de nombreuses pièces distinctes doivent être réunies pour former des ensembles complexes. L'utilisation des composites exige une meilleure interaction entre le concepteur, l'analyste des structures et le fabricant que dans le cas de l'emploi des métaux.

Il reste encore beaucoup à apprendre au sujet des composites. Dans quelle mesure seront-ils endommagés si, par exemple, un mécanicien échappe sa clé anglaise sur une aile? Comment réparer les pièces endommagées? Comment les défauts de fabrication ou les dommages qui surviennent lors de l'utilisation peuvent-ils se propager et entraîner instabilité et défaillances?

Propriétés

Les composites ont l'avantage capital d'allier rigidité, résistance et légèreté. D'autres propriétés peuvent être facilement contrôlées ou étendues à des degrés très différents : le coefficient de dilatation thermique, par exemple, peut être maintenu à zéro à peu près à n'importe quelle température dans les composites graphite-époxy.

Composites à matrice métallique

Leurs avantages, par rapport aux métaux, sont les suivants :

- rapport résistance/densité plus élevé;
- rapport rigidité/densité plus élevé;
- résistance en cas de températures élevées;
- moindre coefficient de dilatation thermique;
- matières brutes facilement disponibles.

Voici leurs avantages par rapport aux composites à matrice polymérisée :

- de meilleures propriétés à température élevée;
- une résistance et une rigidité transversales plus élevées;
- une conductivité thermique et électrique élevée;
- une réaction nulle vis-à-vis de l'humidité;
- une meilleure radiorésistance.

Il faut toutefois se préoccuper des problèmes suivants :

- les coûts élevés;
- une technologie naissante (à l'exception de la technologie bore-aluminium);
- des méthodes de fabrication et d'assemblage complexes et dispendieuses;
- une expérience limitée en matière de service.

Applications

Les principales utilisations des composites de pointe à matrice polymérisée ou métallique en Amérique du Nord se retrouvent surtout dans l'industrie aéronautique, et cette situation ne changera guère si l'on ne découvre pas de nouveaux procédés de production en vue de réduire les coûts.

Des deux genres de composites, les composites à matrice polymérisée sont les plus au point et ce sont eux qui ont trouvé le plus de débouchés à l'extérieur de l'industrie aéronautique. Les laminés graphite-époxy, par exemple, d'abord mis au point pour les structures des avions de chasse, sont actuellement utilisés dans les navires, les ressorts à lame pour voitures, les articles de sport et d'autres produits.

Certains sont d'avis que les composites à matrice polymérisée sont promis à un bel avenir dans la construction automobile; ils pourraient faire réaliser des économies de poids et permettre la fabrication de structures complexes en une ou quelques pièces. D'autres soulignent toutefois que l'utilisation de composites fiables n'a pas encore été autorisée pour les structures critiques d'appareils civils; il faudra encore effectuer de nombreux travaux, surtout dans le domaine des matrices thermoplastiques, avant de pouvoir les utiliser à grande échelle pour la fabrication de structures d'automobile.

Pour mouler une forme particulière à l'aide des méthodes actuelles, on étend généralement le matériau composite à la main et on attend que la pièce durcisse. Beaucoup d'efforts ont été faits, aux Etats-Unis, en vue d'automatiser ces opérations. L'installation d'un équipement de moulage, manuel ou automatique, dans une usine d'automobiles, obligerait à modifier presque toute la chaîne de fabrication, et le cycle de durcissage associé aux composites imposerait des rythmes de fabrication qui conviennent peu à l'industrie automobile et entraînerait des coûts de production élevés.

Il serait possible de surmonter de telles contraintes de diffusion des composites en mettant au point des matériaux à matrice thermoplastique qui, à leur tour, pourraient mener à des systèmes capables de matricer à bas prix des pièces à l'aide de composites. Pour le moment, toutefois, les composites sont dans l'ensemble beaucoup trop dispendieux pour justifier les économies d'essence que permettrait le poids réduit des voitures.

Bien que les matériaux de pointe puissent servir à la construction de voitures plus légères et consommant moins d'essence, certains sont d'avis qu'on arriverait au même résultat, facilement et à meilleur marché, en fabriquant de petites voitures simples à l'aide des matériaux conventionnels.

L'emploi des composites dans l'équipement de sport et de loisirs a atteint un sommet au cours des années 1970, mais sa progression s'est ralentie par la suite. De nombreux utilisateurs éventuels attendent des techniques de production moins coûteuses et plus efficaces.

Perspective canadienne

Les matériaux composites ont été mis au point aux Etats-Unis, et ailleurs, grâce aux efforts concertés des producteurs de matériaux et des fabricants de matériel aéronautique, et avec l'aide de l'Etat.

Au Canada, Canadair et De Havilland utilisent tous les deux des composites renforcés de fibres pour les structures secondaires de cellules d'avions. Les composites représentent environ 6,5 pour cent du poids de la structure de l'appareil Challenger, par exemple. Les matières brutes (tissus préimprégnés de résine polymérisée) sont importées des Etats-Unis, tandis que la conception, la transformation, l'inspection et la certification des pièces sont faites au Canada. Bien que certains prétendent que le Canada devrait posséder des sociétés fabriquant des "préimprégnés", d'autres font remarquer que le marché national est restreint (le Canada n'achète que pour

environ 0,25 million $ de matériaux de ce genre par année) et que le Canada a besoin d'entreprises qui trouvent de nouvelles applications pour ces matériaux. L'industrie aérospatiale devrait être encouragée, ajoutent-ils, parce qu'elle (plus que la recherche et le développement) amène les autres industries à mettre en oeuvre les innovations.

Métaux

Sur la centaine d'éléments chimiques connus, 86 sont classés comme métaux par les chimistes et constituent la très grande majorité des éléments que l'on trouve dans la nature. Le métal le plus utilisé est le fer, suivi de l'aluminium. En pratique, la plupart des métaux sont combinés à d'autres métaux pour former des alliages.

Pour faire face à la concurrence des nouveaux matériaux exotiques, les producteurs de métaux mettent au point des techniques de transformation exotiques pour fabriquer des métaux plus sophistiqués "taillés" pour des créneaux particuliers du marché.

Les procédés traditionnels comme la coulée et les travaux à chaud et à froid contrôlent les propriétés des métaux en vrac. La solidification rapide est un exemple de nouveau procédé; elle permet d'obtenir des matériaux dotés de microstructures originales et de propriétés nouvelles ou améliorées. Les aciers à grains fins (et autres matériaux) fabriqués grâce à ce nouveau procédé sont plus solides, plus faciles à usiner et à travailler lorsqu'ils sont chauds que les aciers conventionnels coulés sous forme de lingots. Le procédé a d'abord été mis au point pour fabriquer des alliages au nickel ayant une bonne tenue aux très hautes températures et utilisés dans les pièces de turbines à gaz.

Parmi les techniques de production de nouvelles microstructures, et donc de nouvelles propriétés, pour les matériaux métalliques traditionnels, mentionnons le forgeage isothermique, le forgeage à l'estampe isostatique et la coulée de superplastiques.

Les métaux, maîtres incontestés depuis des siècles, sont maintenant menacés par les plastiques et les céramiques. Au début, cette menace se cantonnait aux applications où la force et la robustesse, caractéristiques de nombreux métaux, n'étaient pas tellement importantes. De nos jours, avec la mise au point des céramiques haute performance et des plastiques de construction, les métaux sont concurrencés dans presque toutes leurs applications.

L'industrie des télécommunications, de tout temps grande consommatrice de cuivre, se tourne maintenant vers les nouvelles technologies comme les communications par satellites ou fibres optiques, réduisant ainsi son utilisation du cuivre. De même, l'aluminium supplante le cuivre dans les câbles des lignes aériennes de transmission de l'électricité. On prétend qu'une des sources les plus riches de cuivre au monde est la ville de New York, où les vieux câbles téléphoniques sont remplacés par des câbles en fibres optiques.

Propriétés

En pratique, les métaux sont définis par leurs propriétés :

- la malléabilité;
- la ductilité;
- leur capacité de conduite la chaleur et l'électricité;
- leur opacité;
- leur facilité de fusion.

Applications

Le fer

Le fer est la matière première de l'acier, le produit métallique le plus utilisé et dont les applications sont innombrables.

Le cuivre

La plupart du cuivre sert à la fabrication de fils et de câbles, en particulier souterrains et pour l'intérieur. Mentionnons aussi son utilisation dans les radiateurs d'automobiles et autres pièces de véhicules.

L'aluminium

L'aluminium est en train de supplanter le cuivre dans certaines applications comme le transport de l'électricité, les climatiseurs et le matériel de réfrigération.

Alcan-UK et Alcoa-US ont mis au point des alliages aluminium-lithium d'une grande résistance et d'une grande rigidité, 10 pour cent plus légers que l'aluminium classique utilisé en aéronautique, et facilement ouvrables selon les techniques conventionnelles de travail des métaux. Ces nouveaux matériaux pourraient remplacer le kevlar et le graphite-époxy dans la prochaine génération d'avions civils et militaires.

Le zinc

Le zinc sert surtout à la galvanisation, et l'utilisateur principal est le secteur de la construction.

Le nickel

L'acier inoxydable et les aciers spéciaux représentent la moitié de la consommation de nickel on Occident. Un autre quart du nickel produit sert au plaquage.

Perspective canadienne

Le Canada est un des plus grands producteurs et exportateurs de métaux au monde; ces derniers représentent 5 pour cent du produit national brut du pays et 20 pour cent de ses revenus d'exportation. La demande de cuivre, de zinc, de nickel et de minerai de fer canadiens pourrait bien diminuer à mesure que les matériaux industriels de pointe envahissent les marchés occupés traditionnellement par les métaux.

Les producteurs d'acier canadiens, par exemple, doivent se défendre contre les producteurs de matériaux non métalliques de pointe et les producteurs d'alliages de métaux non ferreux.

Plus sérieuse encore est la concurrence offerte par les producteurs étrangers. Le Brésil, la Corée du Sud, l'Indonésie et d'autres pays en développement peuvent maintenant vendre des aciers marchands au Canada à un prix inférieur à ce qu'il en coûte aux aciéries canadiennes. La réponse à ces défis : investir dans une nouvelle technologie de transformation sophistiquée, habituellement mise au point à l'étranger, pour la fabrication des aciers de pointe.

La technologie de solidification rapide peut être appliquée à divers alliages, dont les aciers et l'aluminium. Elle leur confère une plus grande dureté, une meilleure résistance à la corrosion et de meilleures propriétés magnétiques. Actuellement, Alcan est la seule entreprise canadienne à utiliser et à perfectionner cette technologie.

La métallurgie des poudres consiste à produire de fines poudres de métaux et à les amalgamer sous l'effet de la chaleur et de la pression. Le Canada possède une douzaine d'entreprises dont l'activité principale est de fournir des poudres de métaux en vrac, en particulier de fer et de nickel, aux fins de fabrication dans d'autres pays. Deux de ces producteurs ont des programmes importants de recherche et de développement au pays et mettent actuellement au point des poudres de métaux spéciales pour des applications de pointe. La plupart des producteurs profitent des travaux de recherche effectués aux Etats-Unis par leurs sociétés mères.

Polymères

Les polymères, qui sont des macro-molécules ayant une grande masse moléculaire, sont formés par l'union d'un grand nombre de molécules du même composé. La cellulose est un polymère naturel. Les polymères ont été synthétisés pour la première fois au début du siècle. Les polymères synthétiques sont appelés couramment plastiques parce qu'à un stade déterminé de leur fabrication ils peuvent être façonnés et moulus. Les fibres synthétiques, plus solides et plus polyvalentes que les fibres naturelles, ont vu le jour vers les années 1940, ce qui a rendu possible l'utilisation des plastiques comme matériaux structuraux. La technologie des polymères a fait des progrès rapides au cours des dernières décennies et a eu un impact considérable.

La quantité de plastiques utilisés actuellement en Amérique du Nord n'est dépassée en volume que par le bois, l'acier et le béton. De plus, l'accroissement de l'emploi d'alliages et de mélanges polymères spécialisés est deux fois plus élevé que celui de tous les plastiques.

Le marché des polymères est dynamique. Pour répondre à la demande, les chercheurs mettent au point de nouveaux matériaux et de

nouvelles techniques de transformation. La science des polymères n'est encore qu'embryonnaire et on ne connaît pas bien le comportement de ces matériaux. Dans l'avenir, les robots feront fonctionner de nombreuses usines de plastiques et les ordinateurs amélioreront l'efficacité et l'économie de la production. (Les robots et les ordinateurs joueront un rôle important non seulement dans les usines de plastiques, mais aussi dans les fonderies et autres usines où des matériaux sont transformés ou fabriqués.)

Propriétés

Les avantages des polymères résultent d'une combinaison de caractéristiques : ils sont habituellement solides, résistants, chimiquement stables, légers et faciles à travailler, et ils se prêtent bien à la fabrication de formes complexes d'un seul tenant. En fait, les polymères peuvent posséder un éventail très vaste de propriétés : de ductile à friable, de mou à dur, etc. Cette caractéristique reflète l'énorme diversité des chaînes moléculaires qui composent les polymères.

Par unité de volume, les résines synthétiques sont moins chères que la plupart des métaux, et on prévoit que la différence de coût augmentera tout au long de la décennie. La résistance des plastiques s'accroît rapidement; certains polymères haute performance possèdent actuellement une résistance par unité de masse équivalente, voire supérieure à celle de l'acier ordinaire. (On met au point des aciers et autres métaux de qualité supérieure précisément en raison de la concurrence de plus en plus vive des plastiques et des céramiques.)

Applications

Manches d'outils, réservoirs à essence, panneaux et feux de signalisation d'automobiles, valises, canalisations : voilà quelques-unes seulement des applications des plastiques au vaste éventail de produits industriels ou de consommation.

Avions

Les polymères sont utilisés le plus couramment en aéronautique, plus précisément pour la fabrication des éléments de soutènement.

Les matériaux polymères représentent une partie importante du poids total d'un certain nombre d'appareils commerciaux construits actuellement. Utilisés à l'origine dans la fabrication des structures et panneaux intérieurs pour diminuer le poids de l'appareil, ils servent maintenant à la fabrication des ailerons, des volets, du carénage, des gouvernails et d'autres éléments importants, et la prochaine génération d'avions utilisera des composites à matrice polymérisée haute performance pour les structures primaires.

Le remplacement des métaux

Les techniques modernes et les plastiques multi-éléments font une lutte serrée aux métaux, car ils présentent des propriétés équivalentes pour un contenu énergétique moindre. L'équivalent énergétique des charges d'alimentation en hydrocarbures qui donnent les polymères est de loin inférieur à celui du combustible consommé pour la production des métaux, et la quantité de combustible utilisé pour la production des polymères est faible.

Il y a quelque temps, par exemple, les plastiques remplaçaient les métaux dans l'armature des outils portatifs; les pignons de chaînes de bicyclette et de motocyclette en nylon, impensables il y a quelques années, sont maintenant d'usage courant. On a prédit que d'ici 1990, les plastiques représenteraient 30 pour cent du poids de la voiture nord-américaine moyenne.

Toutefois, les plastiques ont décroché les applications faciles. Le rythme auquel ils remplacent les métaux ralentira probablement.

Polymères conducteurs

Une des grandes propriétés des polymères est leur capacité d'agir comme isolants en électricité. Les scientifiques cherchent maintenant à les rendre conducteurs, ce qui mènerait à un grand nombre d'applications nouvelles : dans les cellules photovoltaïques, les électrodes d'accumulateurs et d'autres dispositifs électroniques. Les travaux en laboratoire se poursuivent dans ce domaine.

Perspective canadienne

En 1983, le Canada a exporté pour environ 710 millions $ de résines en vrac et a importé pour environ 1,4 milliard $ de plastiques. Dans le domaine des polymères, comme dans bien d'autres, le Canada exporte surtout des matières premières. Il ne se fait guère de travaux de recherche et de développement, au Canada, dans des domaines comme la thermodynamique et la modélisation mathématique des plastiques, qui sont pourtant importants au point de vue industriel.

3. LA TÂCHE DE CHACUN

Selon certains observateurs, le Canada a plus de dix ans à rattraper pour rejoindre les autres pays dans le domaine des matériaux industriels de pointe. Il devrait tout au moins avoir assez de spécialistes dans le domaine des matériaux de pointe pour surveiller et importer la technologie mise au point ailleurs. De façon idéale, le pays devrait se choisir des créneaux dans le domaine général des matériaux industriels de pointe, là où ses industries pourraient se spécialiser avantageusement. Cela demanderait une interaction étroite entre le gouvernement, l'industrie et les universités, de même qu'un plan national en vue d'orienter l'effort de recherche, sur le modèle de celui élaboré aux Etats-Unis par le National Critical Materials Council, créé en juillet 1984.

Contraintes

Certaines des contraintes imposées à la recherche et à la diffusion des matériaux de pointe au Canada sont exposées ci-dessous.

Les usines satellites

Les entreprises canadiennes dépensent en général très peu d'argent pour la recherche et le développement, comparativement aux entreprises des autres pays industrialisés. Ce n'est pas faute de stimulants gouvernementaux : 70 à 90 pour cent des dépenses de recherche peuvent être récupérées grâce aux dégrèvements fiscaux. La faute revient plutôt aux attitudes adoptées dans les usines satellites.

Par exemple, aucune des entreprises de l'industrie aérospatiale, sous bien des aspects l'industrie de pointe prédominante au Canada, n'a de section permanente de recherche en matériaux. La plupart des grandes sociétés (Pratt et Whitney Canada, Rolls Royce, Boeing du Canada) sont des filiales d'entreprises américaines ou britanniques. Plutôt que de mettre au point de nouveaux procédés et matériaux ici, elles se fient plutôt à la recherche et au développement de leur société mère. Ainsi, l'industrie aérospatiale canadienne utilise beaucoup de matériaux de pointe, mais elle s'engage très peu dans des activités de création de nouveaux matériaux. Elle ne stimule aucunement le développement et l'utilisation de ces matériaux par d'autres industries -- mécanisme de retombée important grâce auquel on peut faire connaître une technologie des matériaux.

L'accès au savoir-faire

L'information sur les matériaux de pointe ne franchit pas librement les frontières. Plus précisément, les Etats-Unis ont désigné certaines technologies comme étant essentielles à l'application et aux progrès des armes (comme certains composites utilisés pour les missiles) et interdit aux Canadiens et aux autres étrangers l'accès à l'information au sujet de ces matériaux ou à des échantillons de ces matériaux.

Un marché national restreint

Le marché canadien est trop petit, selon certains, pour créer une demande pour la mise au point de matériaux nouveaux. Si la recherche doit ouvrir des débouchés, il faut trouver un marché plus important que celui offert par le Canada. Toutefois, le fait qu'il s'agisse là d'une contrainte réelle au développement des connaissances techniques en matière de matériaux n'est pas universellement accepté. Dans le domaine des polymères, par exemple, la taille du marché canadien se compare au marché interne des fabricants de plastiques hollandais ou coréens, qui s'en tirent très bien. Pourtant, malgré la taille assez réduite du marché national, l'industrie des télécommunications canadiennes réussit à innover et à prospérer.

La tradition des matières premières

A mesure que l'on s'éloigne du matériau brut pour s'orienter vers un produit fini, on ajoute à la valeur et on crée des emplois. Pourtant, les Canadiens ont toujours prospéré grâce à l'exportation, sous forme brute, des matières dont notre pays est si riche. Les traditions favorisées par ce commerce découragent l'innovation, en particulier l'innovation dans le domaine des matériaux de pointe.

Le manque d'entreprises innovatrices

Les "entrepreneurs sur papier", formés au droit et à la comptabilité, sont récompensés pour des prises en charge coûteuses et des

fusions qui ne créent aucun emploi ou produit nouveau; les innovateurs, créateurs d'emplois et de biens, ne sont pas récompensés, et les capitaux investis dans leurs fusions ne sont pas disponibles pour l'investissement dans des projets d'innovation.

Ainsi, les investisseurs japonais qui désirent innover exigent un taux de rentabilité de 3 pour cent; au Canada, ils exigent au moins 16 pour cent. Par ailleurs, on compte 400 ingénieurs et scientifiques, contre 4 avocats et comptables, pour 10 000 citoyens japonais. Dans un échantillonnage aléatoire de 10 000 Canadiens (ou Américains), on ne trouve que 70 ingénieurs et scientifiques, et 50 avocats et comptables.

Les acteurs et leur rôle

Le gouvernement

Le gouvernement joue un rôle prédominant en matière de sciences au Canada. La proportion des scientifiques et ingénieurs canadiens et américains est environ la même; toutefois, un quart des technocrates canadiens travaillent pour le gouvernement, comparativement à 1 sur 10 aux Etats-Unis. Plus de la moitié de la recherche accomplie au Canada est financée directement par le gouvernement.

Une des écoles de pensée prétend que la décentralisation des centres de recherche, plutôt que leur concentration à Ottawa, permet de maximiser les retombées des investissements. Une deuxième école de pensée conteste cet argument en invoquant que si l'industrie ne réussit pas à être à l'avant-plan de la recherche, le gouvernement doit le faire; et cela exige une solide coordination centrale.

On s'entend pour reconnaître que les recherches gouvernementales doivent être menées en collaboration avec les universités et l'industrie. Une façon d'y arriver : créer des instituts de recherche "collective" où les grandes sociétés du secteur industriel mettront leurs ressources en commun et travailleront conjointement avec les laboratoires des universités et du gouvernement. Un tel effort collectif de recherche-développement fonctionne très bien en Europe; les sociétés américaines des secteurs aiguillonnés par la concurrence japonaise, comme la micro-électronique et les ordinateurs de la cinquième génération, emboîtent le pas au modèle européen.

Même si, pour le moment, on ne les utilise pas de cette façon, les marchés publics en technologie de pointe accordés par le biais du ministère des Approvisionnements et Services pourraient se révéler un mécanisme important pour l'orientation et le soutien de la recherche. Ils sont particulièrement utiles, car ils suivent la demande du marché et peuvent aider à stimuler celle-ci. En un mot, les achats publics peuvent être utilisés pour créer une demande dans des domaines de technologie où le délai entre la mise au point et les retombées est désespérément long. Bien sûr, il est beaucoup plus facile pour les sociétés de pointe de survivre et de prospérer lorsqu'elles obtiennent des marchés gouvernementaux pour de vastes séries de production que lorsqu'elles doivent attendre que le marché justifie leurs recherches.

Le gouvernement devrait réunir et créer les conditions essentielles à l'innovation dans le domaine des matériaux, comme il l'a fait avec succès dans le domaine des télécommunications.

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie est l'organisme fédéral qui finance la recherche universitaire. Le total des subventions du CRSNG s'est accru, mais les chercheurs universitaires soulignent que cet accroissement a été neutralisé par des coupures de subventions de la part des gouvernements provinciaux.

En septembre 1984, le CRSNG accordait ses premières subventions thématiques, d'un total de 5,1 millions $, dans une catégorie nouvellement créée de procédés et matériaux industriels.

Les universités

La recherche sur les matériaux dans les universités canadiennes est fragmentée et débouche rarement sur une technologie industrielle. Les chercheurs universitaires déclarent qu'ils sont prêts à se pencher sur les problèmes industriels avec l'industrie.

Les bureaux de liaison industriels et les centres d'innovation des universités en témoignent.

Toutefois, les deux secteurs entrent quelquefois en conflit. Les gens du milieu industriel estiment que ceux du milieu universitaire ne comprennent pas le marché. D'après les universitaires, ce sont les industriels qui ne communiquent pas leurs besoins. De 10 à 20 pour cent seulement du financement de la recherche universitaire proviennent de l'industrie.

Il est difficile d'orienter les étudiants vers le domaine des matériaux parce que le public, d'où viennet les étudiants, n'est pas au courant du phénomène des matériaux nouveaux. Et il n'y a pas non plus beaucoup de professeurs d'université spécialistes de ce domaine. Les grandes sociétés ne veulent pas de spécialistes déjà tout formés; elles préfèrent plutôt des gens qui comprennent bien les bases de la chimie, de la physique et des disciplines connexes, et qui peuvent être formés en cours d'emploi. Les petites entreprises, au contraire, préfèrent des spécialistes déjà formés.

On ne s'entend pas sur l'adéquation du nombre de nouveaux titulaires de doctorats par rapport aux besoins actuels de l'industrie et du gouvernement. Il devrait et pourrait y avoir plus d'emplois dans l'industrie pour plus d'étudiants diplômés spécialisés en matériaux industriels de pointe si l'industrie saisissait les possibilités offertes par les nouvelles technologies.

Si l'on désire faire connaître de façon efficace la nouvelle technologie des matériaux par le biais de l'industrie canadienne, il faudra, entre autres choses, que les étudiants en génie puissent utiliser un équipement de laboratoire plus complet et de meilleure qualité, et que les chercheurs des laboratoires des universités, du gouvernement et de l'industrie aient des échanges plus ouverts.

L'industrie

L'innovation semble réussir beaucoup mieux lorsqu'elle est "suscitée" par le marché et non pas "mue" par la technologie. L'industrie, étant donné ses relations étroites avec le marché, doit être aux premiers rangs de l'innovation en matière de matériaux. L'intérêt manifesté par les industriels canadiens lorsqu'il s'agit de mettre au point, d'exploiter ou de répondre à la venue de matériaux de pointe a toutefois été insuffisant pour encourager l'innovation. A leur avis, apparemment, l'innovation dans le domaine des matériaux ne serait pas rentable.

Le peu d'intérêt de l'industrie vis-à-vis des matériaux pourrait dépendre de contraintes comme l'impossibilité de faire face à des changements techniques rapides, l'absence de potentiel de recherche intramuros ou le manque d'accès aux résultats de recherche nécessaires pour trouver des applications innovatrices. Les efforts conjugués de l'industrie, des gouvernements et des universités pourraient permettre de surmonter ces contraintes.

Perspectives

Dans les quatre domaines de matériaux industriels de pointe étudiés dans le présent rapport (céramiques, composites, métaux et polymères), le Canada vient loin derrière les Etats-Unis, l'Europe et le Japon.

Il existe certains domaines prometteurs vers lesquels devraient se diriger les efforts canadiens en vue de mettre au point et d'utiliser les matériaux : les pièces automobiles et certains matériaux conducteurs et d'électronique. Certains polymères offrent également des promesses. La liste qui suit énumère les principales voies qui s'offrent aux Canadiens, d'après les suggestions des participants aux trois ateliers parrainés par le Conseil des sciences du Canada.

Microstructures. La chimie des substances pouvant être utilisée dans les matériaux est, en grande partie, bien connue. Toutefois, le comportement des substances en surface et en interface est encore mal compris. Ce sont les microstructures, internes et en surface, qui modifient largement les propriétés. Une recherche fondamentale de ce genre propose, entre autres choses, d'agglomérer les maté-

riaux et d'appliquer un revêtement sur leurs surfaces.

Composites de fibres ligneuses. Ces matériaux pourraient être employés dans le domaine de la construction. L'industrie canadienne des pâtes et papiers se distingue par son niveau de plus en plus bas de recherche et, en particulier, par son indifférence vis-à-vis des possibilités et des menaces des matériaux de pointe.

Arséniure de gallium. Il faut effectuer des recherches sur ce produit et d'autres utiles en micro-électronique et en télécommunications.

Technologie des particules fines. La formation de nouveaux matériaux à partir de particules inférieures à un micron de diamètre pourrait apporter une amélioration dans le domaine des catalyseurs, des revêtements et des peintures.

Nitrure de silicium. Les poudres de nitrure de silicium et d'autres céramiques de pointe, qui pourraient être produites au Canada, sont actuellement importées du Japon.

Solidification rapide. Il s'agit d'une technique prometteuse pour de nouveaux alliages métalliques.

Traitement des surfaces. Divers procédés visant à modifier les surfaces au moyen de l'énergie directe comme la pulvérisation de plasma, l'implantation d'ions ou le lustrage au laser.

Amiante. Il faut mettre au point des méthodes sécuritaires de manutention de ce produit.

Recyclage. On pourrait mettre au point de nouvelles méthodes de recyclage des métaux, du verre et du papier.

Essais. Il faudrait mettre au point des essais non destructeurs ou autres en vue d'évaluer la fiabilité et la durée utile de matériaux exotiques soumis à la fatigue, à la corrosion, etc.

CAO/FAO. La conception et la fabrication assistées par ordinateur prennent de plus en plus d'importance.

Conclusions

Les personnes ou groupes qui sont le plus près de la recherche et du développement, soit ceux qui travaillent dans les laboratoires gouvernementaux et dans les universités, souhaitent de tout coeur améliorer les capacités canadiennes en matière d'invention, tandis que ceux qui sont près des marchés soulignent plutôt le besoin de trouver des débouchés à la technologie actuelle des matériaux de pointe.

Afin de déterminer les occasions que le Canada pourrait laisser passer, il faudrait analyser, secteur par secteur, les applications industrielles des matériaux. Cette analyse devrait englober non seulement l'aéronautique, l'automobile, la micro-électronique et les télécommunications, mais également les industries qui utilisent actuellement les matériaux classiques.

L'industrie canadienne doit jouer un rôle prépondérant pour déterminer, par des consultations auprès de nombreux participants, les matériaux industriels de pointe qui revêtent une importance stratégique pour le Canada.

Les relations entre l'industrie, le gouvernement et les universités doivent être renforcées et on doit en établir de nouvelles. Les instituts de recherche collective constituent un moyen d'y arriver.

ADDENDA -- Questionnaire et réponses

Afin de poursuivre le travail de consultation déjà amorcé dans les ateliers, le Conseil des sciences a distribué à chacune des 275 personnes invitées à participer à ces ateliers une copie du document de travail ci-joint, ainsi qu'un questionnaire. Quarante-cinq personnes ont répondu à ce questionnaire avant le 1er avril 1985. Parmi ces répondants, huit (18 pour cent) occupaient des postes dans des organismes gouvernementaux, 17 (38 pour cent) dans des universités et 20 (44 pour cent) dans des entreprises industrielles ou des sociétés de consultants.

Le sondage a donné lieu à des observations intéressantes et détaillées. Il a aussi permis de découvrir plusieurs faits occasionnés en partie par la tenue des ateliers sur les MIP. Les indices de succès de ces ateliers sont divers : à un bout de la chaîne, on trouve les personnes qui ont trouvé qu'ils étaient survenus au moment opportun et les avaient amenées à revoir leurs perspectives de recherche, et à l'autre bout, ceux qui s'en sont inspirés pour apporter des changements d'ordre organisationnel. Mentionnons-en deux en particulier.

Tout d'abord, un doyen de l'université Queen's a mentionné que les ateliers ont contribué à la mise sur pied, au sein de la Faculté des sciences appliquées, d'un groupe s'occupant de collaboration entre l'université et l'industrie; il porte le nom de Advanced Materials Technology Unit. En second lieu, un sous-ministre adjoint du ministère de l'Expansion industrielle régionale a signalé que l'Association des manufacturiers canadiens a, suite à l'initiative du Conseil des sciences, tenu un séminaire sur les applications commerciales des MIP. Cela a amené plusieurs associations industrielles et organismes de recherche provinciaux à demander au ministère de l'Expansion industrielle régionale de les aider à organiser une tribune nationale sur les MIP, qui serait dirigée par le secteur privé. Sa mission serait de mieux faire comprendre à l'industrie canadienne les dangers et les avantages des nouveaux développements qui surviennent dans le domaine des MIP, et de réaliser un consensus quant aux moyens à prendre pour accélérer la diffusion des technologies qui y sont mises au point.

Vous trouverez plus loin les questions du sondage ainsi qu'un résumé des réponses. Voici d'abord trois citations qui résument bien les inquiétudes ainsi que les points de vue de la plupart des répondants :

> Il y a, au Canada, un manque d'esprit d'initiative dans le domaine de la technologie et un manque de vision à long terme de la relation entre une économie basée sur la production de matières premières et une économie basée sur la demande de produits et de procédés. Il y a, en somme, trop d'avocats, de diplômés en administration des affaires et de gestionnaires qui tirent leur expertise de la chronique des affaires du Globe and Mail... Ce qui s'est passé dans les industries des semi-conducteurs et des fibres optiques n'est pas le produit d'un miracle technologique. Il faut se rappeler d'abord qu'aucun développement n'est possible sans la production de matériaux de base de haute qualité, et ensuite que la mise au point d'un matériau doit être directement liée à celle d'un produit.

> Il est essentiel, à mon avis, que la recherche universitaire conduise, dans un avenir proche, à la fabrication de produits authentiquement canadiens, ainsi qu'à la création effective d'emplois au Canada. Je crois qu'il est important que toute recherche puisse prouver dès le départ sa capacité d'atteindre ce but. Le Canada pourrait être chef de file mondial dans deux domaines : celui des céramiques piézoélectriques et des dispositifs ultrasoniques connexes, et celui des céramiques superioniques.

> En général, nous n'avons pas assez de chercheurs compétents, et rien ne laisse supposer que cette situation s'améliorera dans les années à venir.

Question 1

Etes-vous en désaccord avec l'une ou l'autre des conclusions du document de travail ci-joint au sujet :

- des technologies émergentes de MIP jugées importantes?
- de l'évaluation de la situation canadienne?
- des occasions qu'offrent les technologies émergentes?
- des contraintes qui empêchent les Canadiens de saisir ces occasions?

Six répondants (13 pour cent) n'ont fait aucune observation à ce sujet.

Vingt-deux (49 pour cent) ont approuvé sans réserve les conclusions du document.

Dix-sept (38 pour cent) ont contesté certaines parties du document. La majorité d'entre eux n'étaient pas d'accord avec l'importance accordée et l'interprétation donnée à certains points. Trois répondants, par exemple, ont fait valoir que le document ne tenait pas compte des recherches sur l'acier, et deux autres jugaient le rapport trop pessimiste. L'un d'eux a fait la remarque suivante : "Il est faux de dire qu'il n'y a pas de R et D dans le domaine des matériaux au Canada. On devrait plutôt dire qu'il n'y a pas assez de R et D pour que celle-ci ait une incidence sur l'industrie."

Un des participants s'est opposé à presque tout le contenu du document.

Question 2

Selon vous, est-ce qu'il serait bon de tenir des ateliers donnant suite aux conférences sur les MIP pour accroître la sensibilisation et susciter l'engagement des Canadiens à l'égard de ce secteur. Dans l'affirmative, de quel genre d'ateliers pourrait-il s'agir? Quel devrait être le thème de chacun d'eux?

Huit personnes (18 pour cent) n'ont pas répondu à cette question.

Quatorze (31 pour cent) estimaient que les ateliers devaient se concentrer sur l'étude de technologies ou de matériaux précis. Parmi les thèmes suggérés par ceux-ci se trouvaient : la mise à l'essai des matériaux, les aciers formables, les céramiques de pointe, ainsi que les biomatériaux. Plusieurs ont fait remarquer que ces ateliers devraient consister en séances d'information, données par des experts, présentant les avantages et les désavantages, l'évolution probable et les possibilités d'utilisation de chaque matériau.

Dix répondants (22 pour cent) ont suggéré divers thèmes de conférences. Citons, par exemple, la politique gouvernementale (en particulier la fiscalité), l'échange d'informations, les instituts de recherche collective et l'expertise régionale. L'un d'eux a proposé la création d'un conseil de recherches en matériaux qui s'apparenterait au CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie), et un autre, "la tenue d'ateliers où les titres et les diplômes seraient laissés au vestiaire avec les bottes et les manteaux"; on devrait alors se poser ces questions : "Qu'est-ce que nous voulons faire exactement? Comment allons-nous y arriver? Et qu'est-ce que nous sommes prêts à sacrifier pour y arriver?"

Cinq personnes (11 pour cent) ont proposé les thèmes d'ateliers suivants : les groupes d'usagers ou les marchés.

Selon quatre autres répondants (9 pour cent), les ateliers devraient porter sur l'étude de secteurs industriels particuliers tels que l'acier ou les pâtes et papiers. "En analysant, secteur par secteur, les dangers qui menacent une industrie ou les occasions qui s'offrent à elle, on pourrait mieux réorienter notre stratégie industrielle", a précisé l'un d'eux. "On dit que, vu sous un nouvel angle, tout obstacle peut être perçu comme un avantage."

Quatre (9 pour cent) considéraient que les ateliers tenus en 1984 avaient été peu productifs et qu'il était temps de formuler des recommandations précises et d'adopter un plan d'attaque. L'un d'eux a proposé que les chercheurs "réunissent les personnes les mieux informées et les plus actives dans ce domaine au Canada, décident de la marche à suivre et agissent en conséquence".

Question 3

Les chercheurs universitaires ont du mal à répondre efficacement à la demande industrielle car celle-ci n'est pas clairement exprimée : comment pourrait-on remédier à ce problème?

Sept participants (16 pour cent) n'ont pas répondu à cette question.

Selon quatre autres (9 pour cent), la question ne devrait même pas se poser : si les politiques en place étaient efficaces, la demande industrielle serait par le fait même explicite, a déclaré l'un d'eux, tandis qu'un autre indiquait que la recherche universitaire ne devrait pas être orientée vers le produit.

Douze répondants (20 pour cent) ont fait des suggestions diverses. Les uns voulaient maintenir le statu quo : "Beaucoup d'efforts sont faits dans ce domaine et ce n'est qu'à force de patience qu'on pourra en voir les retombées", a-t-on fait observer. Quelques suggestions concernaient des mesures industrielles : "Il faut choisir un produit, les polymères conducteurs par exemple, pour lequel il existe une demande mondiale et où les facteurs transport et barrières tarifaires comptent relativement peu, et l'innovation est grandement récompensée", a constaté un autre. On a aussi suggéré, entre autres mesures, que le gouvernement encourage les étrangers qualifiés à immigrer pour que le pays puisse se doter du savoir-faire technique dont il a besoin.

Dix personnes (22 pour cent) ont proposé divers modes de coopération entre le gouvernement, les universités et le secteur privé dans le domaine de la recherche comme moyens de clarifier les besoins de l'industrie. Deux d'entre eux ont appuyé la création d'instituts de recherche collective et deux autres ont proposé la création, dans les universités, d'instituts de recherche en matériaux. L'industrie guiderait et financeraite en collaboration avec le gouvernement, la recherche au sein de ces instituts. Un autre a suggéré que les chercheurs universitaires travaillent une année sur cinq dans l'industrie, et un dernier, que les ateliers université-industrie du CRSNG servent de tribune où les besoins du marché pourraient être exprimés.

Dans neuf réponses (20 pour cent), la question des communications a été soulevée. On a notamment suggéré que les industriels communiquent leurs besoins aux universitaires en engageant des étudiants de deuxième et troisième cycles formés en technologie des matériaux, ou au moyen de questionnaires; que les gouvernements mettent sur pied des fichiers de données électroniques sur les matériaux nouveaux, mis à jour mensuellement; et enfin qu'industriels et universitaires entretiennent des relations interpersonnelles.

Trois des participants (7 pour cent) étaient d'avis que des mécanismes de financement pourraient aider à clarifier les besoins du marché. L'un d'eux a suggéré par exemple que le CRSNG offre d'importantes subventions de fonctionnement aux chercheurs universitaires qui collaborent avec le milieu industriel. "Un secteur industriel ne se développera que si les entrepreneurs sont convaincus qu'ils ont de bonnes chances d'y faire des profits", a affirmé l'un des participants. "Ce qui nous fait défaut, ce sont des ressources pour adapter les innovations aux besoins du marché et pour présenter celles-ci de façon à convaincre les entrepreneurs : je veux parler d'une réserve de capital-risque." Le CNRC (Conseil national de recherches Canada), a-t-il ajouté, a tenté d'établir des programmes en vue d'offrir des capitaux à l'industrie mais ces programmes n'ont pas été approuvés politiquement.

Question 4 a)

Quelles recommandations devrait-on adresser au gouvernement en vue de

- favoriser la R et D dans le domaine des MIP?
- favoriser l'exploitation industrielle des technologies de MIP émergentes?

Sept participants (16 pour cent) ont choisi de ne pas répondre à cette question.

Quatorze répondants (31 pour cent) ont fait des suggestions précises quant au financement. Selon eux, la recherche et le

développement dans le domaine des matériaux devraient bénéficier de plus de crédits, que ce soit sous forme de subventions directes, d'avantages fiscaux ou d'acquisitions gouvernementales.

Deux personnes au sein de ce groupe ont dit penser que le CRSNG devrait bénéficier d'un plus grand budget. Cet organisme subventionnaire, a précisé l'un d'eux, est maintenant la seule source de financement à laquelle peuvent recourir les universités pour équiper leurs laboratoires. Mais le CRSNG n'a pas suffisamment de crédits et ne comprend pas assez bien les chercheurs qui, pour leurs travaux susceptibles de servir à l'industrie, ont besoin d'appareils très dispendieux -- microsondes, microscopes à balayage et autres appareils d'analyse, qui peuvent coûter jusqu'à un demi-million de dollars chacun. La recherche conjointe, a ajouté celui-ci, permettrait l'utilisation commune de ces appareils coûteux. Un autre participant a parlé en ces termes : "Dans mon laboratoire seulement, il faudrait environ 250 000 $ pour renouveler le matériel, agrandir et obtenir d'autres aides techniques. Dans l'état actuel des choses, il me sera impossible d'obtenir autant d'argent."

Selon un autre participant, on devrait offrir des incitations fiscales plutôt que des subventions, qui freinent et compliquent les efforts d'innovation. Six participants (13 pour cent) ont fait mention des incitations fiscales. L'un d'entre eux a noté que celles-ci ont tendance à changer d'un gouvernement à l'autre, mais que "la création d'un centre de recherche exige des investissements considérables et à long terme, ainsi qu'une confiance qui se bâtit sur des lignes d'action cohérentes". Les incitations fiscales, a dit un participant, devraient servir à encourager les compagnies étrangères à effectuer des travaux de recherche et de développement au Canada, tandis que d'autres voulaient que les études de marchés, "point faible des compagnies canadiennes", soient traitées, aux fins fiscales, au même titre que la recherche.

Douze répondants (27 pour cent) ont proposé des solutions précises concernant les politiques et les institutions. Quatre d'entre eux ont dit qu'il était nécessaire que le gouvernement élabore une stratégie dans le domaine des matériaux industriels de pointe, en définisse les objectifs, détermine les technologies prometteuses, finance des organismes de coordination et crée des moyens de stimuler la recherche et le développement. Parmi ceux-ci, deux ont ajouté qu'il fallait d'abord élaborer une politique nationale scientifique ou économique. D'autres ont suggéré qu'on crée au CNRC une division qui serait chargée de la recherche en matériaux industriels de pointe, qu'on utilise les sociétés d'Etat pour mettre de l'avant de nouvelles technologies, ou encore qu'on participe à des programmes de recherche américains comme ceux de Batelle et de Stanford, qui portent sur les céramiques.

Neuf répondants (20 pour cent) ont dit qu'il fallait appuyer la recherche, le développement et l'exploitation des technologies dans le domaine des matériaux, sans toutefois spécifier de quelle façon cela pourrait se faire. "Assez parlé, il faut agir", a répondu l'un d'eux. "Il faut promouvoir coûte que coûte la R et D à long terme et de qualité", a expliqué un autre, "et laisser de côté les vieilles doctrines mettant en opposition les investissements privés et les investissements publics en R et D".

D'autres commentaires et suggestions ont été faits :

- Il faut embaucher moins d'avocats et de comptables et plus d'ingénieurs;
- il faut encourager l'innovation plus que la recherche et le développement;
- il faut suivre le modèle japonais de partage des installations et concentrer nos efforts sur les métaux -- les nouveaux alliages et les applications basées sur le cuivre, le nickel, le zinc, etc.

Question 4 b)

A quels administrations et organismes publics ces recommandations devraient-elles être adressées?

Dix-neuf participants (42 pour cent) n'ont pas répondu à ce volet de la question.

Vingt-six (58 pour cent) y ont répondu, mais en des termes généraux qui laissaient entendre que ces recommandations devraient être adressées à tous les ministères fédéraux et provinciaux, services publics ou sociétés d'Etat, ou aux principaux d'entre eux. Douze répondants ont mentionné des organismes fédéraux particuliers, dont le CRSNG, nommé par cinq, et le CNRC, nommé par quatre. Parmi les autres organismes signalés, citons : les ministères des Communications, de la Défense nationale, de l'Expansion industrielle régionale, de l'Energie, des Mines et des Ressources, de l'Emploi et de l'Immigration, le ministère d'Etat chargé des Sciences et de la Technologie, le Parlement et le ministère du Revenu. Selon un des répondants, ces recommandations devraient être adressées directement aux premiers ministres des provinces ainsi qu'au premier ministre du Canada. "Qu'est-ce qui a permis aux Américains d'aller sur la lune?" a-t-il demandé. "L'engagement du président", a-t-il répondu.

Question 4 c)
Dans quel genre d'organisme cette R et D devrait-elle être effectuée?

Treize participants (29 pour cent) n'ont pas répondu à cette question.

Des instituts de recherche industrielle ou orientée vers l'industrie pourraient remplir cette fonction, ont affirmé 10 répondants (22 pour cent). Selon l'un d'eux, les universités devraient servir d'organismes de soutien et, selon un autre, elles ne devraient jouer un rôle que si le rendement des universitaires est évalué en fonction des profits réalisés plutôt qu'en fonction des ouvrages publiés. La participation du gouvernement devrait être restreinte, a-t-on noté par ailleurs. A propos de la place que doivent tenir les laboratoires gouvernementaux et ceux du secteur privé, un répondant s'est exprimé en ces termes :

> Je pense que les laboratoires du gouvernement fédéral ont un rôle à jouer dans les domaines de l'agriculture, de la pêche et dans d'autres secteurs où l'application de la technologie est si diffuse qu'elle rapporte peu de bénéfices directs à l'organisme qui est en mesure de soutenir financièrement la recherche. Par contre, je ne crois pas que les universités ou les gouvernements soient assez près du marché pour connaître les développements qui sont nécessaires pour que le Canada, aujourd'hui fournisseur de matériaux, devienne un pays fournisseur de produits technologiques.

Six répondants (13 pour cent) ont indiqué que la R et D devrait être effectuée dans les universités et les organismes de recherche fédéraux, provinciaux et industriels existants, sans préciser lesquels.

Cinq répondants (11 pour cent) étaient d'avis que la recherche fondamentale dans le domaine des matériaux devait être effectuée surtout dans le milieu universitaire, en collaboration avec les milieux gouvernemental et industriel, la mise au point du produit se faisant dans les laboratoires privés.

Cinq répondants (11 pour cent) ont défini les critères auxquels doit répondre l'organisme qui serait apte à effectuer la recherche et le développement dans le domaine des matériaux. Pour l'un d'eux, cet organisme devrait pouvoir "attirer les meilleurs chercheurs qui soient" et, pour un autre, il devrait bénéficier des services "des plus grands spécialistes" et être situé "au meilleur endroit possible".

Trois répondants (7 pour cent) ont dit estimer que ce seraient les laboratoires gouvernementaux, et en particulier ceux du CNRC, qui devraient se charger de la recherche en matériaux. Le CNRC, a proposé un répondant, devrait alors confier en sous-traitance à de petites entreprises canadiennes de moins de 100 employés ayant un chiffre d'affaires annuel inférieur à 10 millions $ les travaux de recherche et de développement en ce domaine. Un autre a fait l'éloge des agents contractuels du Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC : "Ils savent, a-t-il dit, diffuser de la façon la plus économique possible les résultats des efforts d'innovation."

Deux participants (4 pour cent) ont appuyé la création d'instituts de recherche collective au sein desquels les chercheurs des secteurs gouvernemental, industriel et universitaire travailleraient ensemble pendant un certain temps.

Question 5
Faudrait-il établir des réseaux spécialisés dans un secteur ou l'autre des MIP? Dans l'affirmative, quels groupes devraient y participer et comment le réseau devrait-il fonctionner? Quel rôle aimeriez-vous y jouer?

Dix répondants (22 pour cent) ont choisi de ne pas répondre à cette question.

Vingt-neuf répondants (64 pour cent) ont fourni des réponses affirmatives et spécifiques à cette question, et nombre d'entre eux ont manifesté le désir de jouer un rôle qui corresponde à leurs intérêts et aux postes qu'ils occupent.

Cinq répondants (11 pour cent) ont dit estimer que les réseaux émaneraient des instituts de recherche collective. On a mentionné deux projets de recherche collective. Le personnel du nouveau Centre d'automatisation du lieu de travail, au ministère des Communications, est formé d'un nombre égal de scientifiques gouvernementaux et de chercheurs provenant de l'industrie. Le McMaster Institute for Polymer Production Technology collabore avec 16 entreprises, qui lui versent une cotisation annuelle de 15 000 $ US.

Plusieurs répondants ont souligné l'existence d'entités qui jouent déjà le rôle, sinon d'organes de recherche collective, du moins de centres d'échange d'information et d'interaction personnelle. On a mentionné l'Institut canadien du plastique, l'Advanced Materials Technology Unit de l'université Queen's, l'Institut de génie des matériaux du CNRC, le programme université-industrie du CRSNG et le Conseil des sciences. D'autres ont indiqué les matériaux ou les technologies autour desquels devraient, selon eux, s'organiser les réseaux. Ont été mentionnés les biomatériaux, les céramiques, les alliages, les mélanges de polymères et les composites à matrice polymérisée, ainsi que les technologies des semi-conducteurs.

Certains répondants ont mentionné les techniques et les objets des communications qu'ils voudraient voir parcourir les réseaux. Par exemple, l'un d'eux a dit estimer que les réseaux devraient être basés sur des banques de données informatisées. Selon un autre, les réseaux doivent être conçus de façon à permettre aux innovateurs de connaître l'opinion des industriels concernant les mérites d'une innovation.

Cinq répondants (11 pour cent) ont dit approuver l'idée des réseaux sans toutefois préciser les domaines de spécialisation ni le rôle qu'ils aimeraient jouer dans de tels réseaux. L'un d'eux a fait remarquer que les réseaux n'étaient nécessaires "que dans des cas particuliers".

"L'utilité des réseaux est douteuse", a affirmé un des répondants. Un autre a souligné qu'ils étaient utiles uniquement en recherche fondamentale. "Lorsqu'il s'agit du domaine des produits, a-t-il ajouté, l'industrie doit nécessairement rechercher la propriété exclusive, ce qui est difficilement compatible avec l'existence d'un réseau."

Question 6
Le document de travail a-t-il été utile? Dans l'affirmative, de quelle façon?

Sept participants au sondage (16 pour cent) n'ont pas répondu à cette question.

Trente-quatre répondants (76 pour cent) ont jugé le document de travail utile. La plupart d'entre eux y ont vu un condensé intéressant. Parmi les commentaires faits, mentionnons les suivants :

- ce document nous a permis d'engager une réflexion sur le rôle des matériaux de pointe dans notre organisation;
- il sensibilisera peut-être les gens à l'importance des matériaux de pointe;

- il a montré l'ampleur et la portée du problème, qui constitue en fait une urgence nationale.

Quatre répondants (9 pour cent) n'ont pas vu l'utilité de ce document de travail.